

J. Bronowski

EL
ASCENSO
DEL
HOMBRE



FONDO EDUCATIVO INTERAMERICANO

EL ASCENSO DEL HOMBRE

Jacob Bronowski

INDICE GENERAL

Prefacio

Capítulo 1 Casi como los ángeles 9

La adaptación animal – La alternativa humana – El comienzo en Africa – La evidencia fósil – El don de anticipación – La evolución de la cabeza – El mosaico del hombre – Las culturas del cazador – A través de las glaciaciones – Las culturas trashumantes: los lapones – La imaginación en el arte rupestre.

Capítulo 2 La cosecha de las estaciones 25

El camino de la evolución cultural – Culturas nómadas: los baktiaritas – Los inicios de la agricultura: el trigo – Jericó – El país de terremotos – La tecnología de la aldea – La rueda – La domesticación de los animales: el caballo – Juegos de guerra: Buz-Kashi – La civilización sedentaria.

Capítulo 3 La veta en la piedra 37

La llegada al Nuevo Mundo – La evidencia de los grupos sanguíneos en las migraciones – Las acciones de moldear y cortar – Estructura y jerarquía – La ciudad: Macho Picchu – La arquitectura lineal: Pesto – El arco romano: Segovia – La aventura gótica: Reims – La ciencia como arquitectura – La figura oculta: de Miguel Angel a Moore – El placer de construir – Bajo lo visible.

Capítulo 4 La estructura oculta 49

Fuego, elemento que transforma – Extracción de metales: el cobre – La estructura de las aleaciones – El bronce como obra de arte – Del hierro al acero: la espada japonesa – Oro – Lo incorruptible – Teoría alquímica del hombre y la Naturaleza – Paracelso y el advenimiento de la química – Fuego y aire: Joseph Priestley – Antoine Lavoisier: las combinaciones se pueden cuantificar – La teoría atómica de John Dalton.

Capítulo 5 La música de las esferas 63

El lenguaje de los números – La llave a la armonía: Pitágoras – El triángulo rectángulo – Euclides y Ptolomeo en Alejandría – Surgimiento del Islam – Los números arábigos – La Alhambra: patrones de espacio – Simetrías de los cristales – La perspectiva desde Alhazén – El movimiento en el tiempo, la nueva dinámica – La matemática del cambio.

Capítulo 6 El mensajero celeste 77

El ciclo de las estaciones – El cielo desconocido: la Isla de Pascua – El sistema de Ptolomeo en el reloj de Dondi – Copérnico: el Sol como centro – El telescopio – Galileo inicia el método científico – Prohibición del sistema de Copérnico – Diálogo sobre ambos sistemas – La Inquisición – Galileo se retracta – La Revolución Científica se traslada al norte.

Capítulo 7 El mecanismo majestuoso 91

Las leyes de Kepler – El centro del mundo – ; Las innovaciones de Isaac Newton; las fluxiones

Índice general

– Descubrimiento del espectro – Leyes de gravitación y sus principios – El dictador intelectual – Desafío mediante la sátira – El espacio absoluto de Newton – El tiempo absolutos – Albert Einstein – El viajero porta su propio tiempo y espacio – La relatividad es puesta a prueba – La nueva filosofía.

Capítulo 8 El afán de poder 107

La revolución inglesa – Tecnología cotidiana: James Brindley – La revuelta contra los privilegios: Fígaro – Benjamín Franklin y la revolución norteamericano – Los nuevos hombres: maestros del hierro – La nueva apariencia: Wedgwood y la Sociedad Lunar – Las nuevas fábricas – Una nueva preocupación: la energía – El cuerno de la invención – La unidad de la Naturaleza.

Capítulo 9 La escala de la creación 119

Los naturalistas – Charles Darwin – Alfred Wallace – El impacto de Sudamérica – La variedad de las especies – Wallace pierde su colección – Se concibe la selección natural – La continuidad de la evolución – Luis Pasteur: mano derecha, mano izquierda – Las constantes químicas en evolución – El origen de la vida – Las cuatro bases – ¿Son posibles otras formas de vida?

Capítulo 10 Un mundo dentro del mundo 133

El cubo de sal – Sus elementos – El juego de paciencia de Mendeleev – La tabla periódica – J. J. Thomson: el átomo contiene partes – La estructura del arte moderno – La estructura del átomo: Rutherford y Niels Bohr – El ciclo vital de una teoría – El núcleo contiene partes – El neutrón: Chadwick y Fermi – Evolución de los elementos – La segunda ley como fenómeno estadístico – Estabilidad estratificada – Copia de la física de la Naturaleza – Ludwig Boltzmann: los átomos son reales.

Capítulo 11 Conocimiento o certeza 149

No existe el conocimiento absoluto – El espectro de las radiaciones invisibles – El refinamiento del detalle – Gauss y la teoría de la incertidumbre – La subestructura de la realidad: Max Born – El principio de incertidumbre de Heisenberg – El principio de tolerancia: Leo Szilard – La ciencia es humana.

Capítulo 12 Generación tras generación 163

La voz de la insurrección – Los naturalistas de huerto: Gregorio Mendel – Genética del guisante – Olvido instantáneo – El modelo hereditario de todo o nada – El mágico número dos: el sexo – El modelo del DNA de Crick y Watson – Duplicación y crecimiento – Programación de formas idénticas – La selección sexual en la diversidad humana.

Capítulo 13 La larga infancia 175

El hombre, solitario social – La especificidad humana – Desarrollo específico del cerebro – La precisión de la mano – Las áreas del habla – La postergación de la decisión – La mente como instrumento de preparación – La democracia del intelecto – La imaginación moral – El cerebro y la computadora: John von Neumann – La estrategia de valores – El conocimiento es nuestro destino – El compromiso del hombre.

Bibliografía

Índice de materias

PREFACIO

El primer esbozo de *El ascenso del hombre* fue escrito en julio de 1969, y el último metro de película fue filmado en diciembre de 1972. Una empresa tan grande como esta, aunque sea maravillosamente excitante, no se logra fácilmente. Se requiere de un vigor intelectual y físico a toda prueba, una inmersión total, de la cual hube de asegurarme de que la podía sostener con beneplácito; por ejemplo, tuve que olvidarme de las investigaciones que ya había empezado; y debo explicar qué me llevó hacerlo.

Ha habido un cambio profundo en la ciencia en los últimos veinte años: el foco de atención ha cambiado de la física a las ciencias de la vida. Como resultado de eso, la ciencia ha penetrado más y más en el estudio de la individualidad. Pero el espectador interesado se encuentra todavía lejos de imaginar lo que puede llegar a cambiar la imagen del hombre que la ciencia moldea. Como matemático en el ramo de la física, yo también hubiera estado poco consciente de no haber sido por una serie de oportunidades que me introdujeron dentro de las ciencias de la vida en mi madurez. Tengo una deuda con la buena suerte que me ha conducido a dos ramas primordiales de la ciencia durante mi existencia; y aunque no sé realmente a quien se lo debo, concebí *El ascenso del hombre* en señal de gratitud y justa correspondencia.

La invitación que me hizo la British Broadcasting Corporation fue para presentar el desarrollo de la ciencia en una serie de programas de televisión equiparable a la de Lord Clark: *Civilización*. La televisión es un medio excelente de presentación por diferentes razones: poder de visualización inmediata; poder de hacerle sentirse al espectador dentro de las escenas que se están exhibiendo, y el diálogo suficiente para hacerlo consciente de que lo que observa no son eventos sino acciones con gente. La última razón fue la que más impulsó mi mente y me hizo aceptar el dirigir una biografía personal de las ideas en forma de programas de televisión. La cuestión es que el conocimiento en general y la ciencia en particular no consisten de ideas abstractas sino de ideas concebidas por el hombre desde su aparición hasta lo moderno y lo idiosincrásico. Por lo tanto, los conceptos fundamentales que abren la puerta al conocimiento de la naturaleza deben ser dados a conocerla partir de las culturas humanas más simples, de acuerdo con sus facultades básicas y específicas. Y el desarrollo de la ciencia, que los une más y más en conjunciones complejas, debe ser visto como un desarrollo igualmente humano: los descubrimientos son hechos por los hombres, no solamente por las mentes, de modo que ellos viven y son portadores de la individualidad. Si la televisión no se usara para presentar estos pensamientos en forma concreta, sería tanto como desperdiciarla.

El desentrañar ideas es, en todo caso, un empeño íntimo y personal, y aquí llegamos al terreno común entre la televisión y el libro impreso. A diferencia de una conferencia o una función de cine, la televisión no está dirigida a multitudes. Se dirige a dos o tres personas en una habitación, como en una conversación cara a cara, unilateral en su mayor parte, como lo es un libro; pero, no obstante, es más hogareña y socrática. Para mí, absorbido en las subcorrientes filosóficas del conocimiento, este es el regalo más atractivo de la televisión, por el cual ésta puede inclusive llegar a ser una fuerza intelectual tan persuasiva como el libro.

El libro impreso tiene una libertad adicional más allá de esto: no está despiadadamente ligado a la dirección de avance del tiempo, como lo está cualquier discurso.

El lector puede hacer lo que el televidente o el oyente no pueden, que es detenerse y reflexionar, regresar a páginas anteriores y argumentar sobre lo oído, comparar un hecho con otro y, en general, apreciar los detalles de la evidencia sin ser molestado. He sacado ventaja de esta marcha más placentera de la mente, poniendo en el papel ahora lo que se dijo primero en

la pantalla de televisión. Lo que se dijo requirió un gran volumen de investigaciones, el cual proporcionó inesperados eslabones y cosas extrañas, y hubiera sido triste no haber plasmado algunas de estas riquezas en la presente obra. Verdaderamente me hubiera gustado haber hecho más, e intercalar en el texto todos los datos y citas en que se fundamenta. Pero se habría convertido en un libro para estudiantes en lugar de un libro para el lector en general.

Al pasar el texto que se utilizó en la pantalla, seguí de cerca la palabra hablada por dos razones. Primero, quería conservar la espontaneidad de pensamiento en el discurso, lo cual he procurado alentar dondequiera que fui. (Por la misma razón, escogí los lugares que eran tan nuevos para mí como para el espectador.) Segundo y más importante, quería igualmente conservar la espontaneidad del argumento. Un argumento verbal es informal y heurístico; separa el aspecto fundamental del asunto y demuestra en qué sentido es nuevo y crucial; y proporciona el camino hacia la solución de modo que, aun simplificado, conserva una lógica correcta. Para mí, esta forma de argumentación filosófica constituye la cimentación de la ciencia, y nada que pueda oscurecerla debe ser permitido.

El contenido de estos ensayos es, en efecto, mayor que el ámbito de la ciencia, y no los hubiera llamado *El ascenso del hombre* si no hubiera tenido también en mente otros aspectos de nuestra evolución cultural. Mi ambición aquí ha sido la misma que en mis otros libros, ya sean de literatura o de ciencia: el crear una filosofía del siglo XX, la cual deber ser unificada. Igual que en aquellos, esta serie muestra una filosofía más que una historia, y una filosofía de la naturaleza más que de la ciencia. Su tema es una versión contemporánea de lo que se solía llamar filosofía natural. A mi manera de ver, tenemos ahora una forma mejor de concebir la filosofía natural que en cualquier etapa de los últimos trescientos años. Esto es en virtud de que los recientes descubrimientos de la biología humana han dado un nuevo camino al pensamiento científico, un desplazamiento de lo general a lo individual, por primera vez desde que el Renacimiento abrió la puerta del mundo de la naturaleza.

No puede haber una filosofía, ni siquiera puede haber una ciencia decente, sin humanidad. Espero que el sentido de esta afirmación se manifieste en este libro. Para mí, el entendimiento de la naturaleza tiene como meta la comprensión de la naturaleza humana, y de la condición humana dentro de la naturaleza.

Presentar un enfoque de la naturaleza a la escala de esta serie, ha sido tanto un experimento como una aventura, y me siento agradecido hacia aquellas personas que hicieron posible ambas cosas. Mi primera deuda es con Instituto Salk de Estudios Biológicos, el cual me brindó gran ayuda en el estudio de la especificidad humana y me concedió un año de licencia sabática para poder filmar los programas de televisión. Estoy también muy agradecido a la British Broadcasting Corporation y a sus asociados, y muy particularmente a Aubrey Singer, quien concibió el tema global y me insistió sobre éste durante dos años antes de ser persuadido.

La lista de quienes me ayudaron a realizar los programas es tan extensa que considero que debo situarla en una página especial, y darles las gracias en conjunto; fue un placer trabajar con ellos. Sin embargo, no puedo omitir el mencionar los nombres que encabezan la lista, y particularmente a Adrian Malone y Dick Gilling, quienes con su gran imaginación lograron la transustanciación de la palabra en cuerpo y sangre.

Dos personas trabajaron conmigo en este libro, Josephine Gladstone y Sylvia Fitzgerald, e hicieron mucho más; me siento feliz de poder darles las gracias por su gran labor. Josephine Gladstone se encargó de todas las investigaciones de la serie desde 1969 y Sylvia Fitzgerald me ayudó a planear y preparar el guión en cada etapa sucesiva. No podría haber tenido colegas más estimulantes.

J. B.
La Jolla, California

EL ASCENSO DEL HOMBRE

Editor de la serie:

Adrian Malone

Productor:

Richard Gilling

Equipo de producción:

Mick Jackson

David John Kennard

David Paterson

Asistentes de producción:

Jane Callander

Betty Jowitt

Lucy Castley

Philippa Copp

Fotografía:

Nat Crosby

John Else

John McGlashan

Sonido:

Dave Brinicombe

Mike Billing

John Tellick

Patrick Jeffery

John Gatiand

Peter Rann

Editores de filme:

Roy Fry

Paul Carter

Jim Latham

John Campbell

1 CASI COMO LOS ANGELES

El hombre es una criatura singular, posee un cúmulo de dones que lo hacen único entre los animales: a diferencia de ellos, no es una figura del paisaje; es un modelador de éste. En cuerpo y mente es el explorador de la naturaleza, el animal ubicuo que no ha encontrado sino creado su hogar en cada continente.

Los españoles que arribaron a las costas de California en 1769, a través del Océano Pacífico, consignaron que los indígenas locales narraban que, durante el plenilunio, los peces venían a bailar en estas playas. Y es verdad que existe una variedad local de peces, la lisa (grunion), que sale del agua y deposita sus huevos más allá del sitio donde termina la marea normal. Las hembras entierran la cola en la arena y los machos giran alrededor fertilizando los huevos conforme son depositados. El plenilunio es importante, ya que proporciona el tiempo que requieren los huevos para incubar sin ser perturbados en la arena, durante nueve o diez días, hasta la llegada de las siguientes mucho más altas mareas que se llevarán los peces recién nacidos hacia el mar. Cada rincón del mundo está saturado de estas precisas bellas adaptaciones, mediante las cuales un animal se integra a su medio como un engranaje a otro. El erizo duerme y aguarda la primavera para hacer funcionar su metabolismo. El colibrí desplaza el aire y clava su afilado pico en los flósculos naciéndo. Las mariposas se mimetizan en hojas e incluso en criaturas nocivas para despistar a sus depredadores. El topo excava el suelo como si hubiera sido diseñado en forma de pala mecánica.

Es así que millones de años de evolución han moldeado a la lisa para aparecer exactamente con las mareas. Pero la naturaleza, es decir: la evolución biológica, no ha circunscrito al hombre a ningún ambiente específico. Por el contrario, comparado con la lisa, tiene habilidades menos específicas para sobrevivir; empero, esta es la paradoja de la condición humana: el poder de adaptación a todos los medios. Entre la multitud de animales que reptan, vuelan, escarban y nadan a nuestro derredor; es el hombre el único que no se halla encadenado a su ambiente. Su imaginación, su razón, sus delicadas emociones y su vigor le permiten no aceptar el medio sino cambiarlo. Y la serie de inventos merced a los cuales el hombre de todas las eras ha remodelado su mundo, constituye una clase de evolución diferente, no biológica sino cultural. Yo llamo a esa brillante secuencia de logros culturales El ascenso del hombre.

Utilizo la palabra ascenso en un sentido preciso. El hombre se distingue de los demás animales por su riqueza imaginativa. Planea, inventa, realiza nuevos descubrimientos, armonizando sus diversas capacidades; y sus descubrimientos se hacen más sutiles e importantes a medida que aprende a combinar sus facultades de maneras más complejas y sutiles. Así, los grandes descubrimientos de distintas eras y culturas – en la técnica, en la ciencia, en las artes – expresan en su continuidad una más rica e intrincada conjunción de facultades humanas, una ascendente interrelación de éstas.

Es por supuesto tentador – muy tentador para un científico – esperar que las proezas más excepcionales de la mente sean también las más recientes. Y ciertamente tenemos motivos para ufanarnos de algunos descubrimientos modernos. Pensemos, por ejemplo, en el descubrimiento de la clave de la herencia en la espiral del DNA, o en las investigaciones sobre las facultades del cerebro humano. Pensemos en la perspicacia filosófica que llegó a concebir la Teoría de la Relatividad o el minucioso comportamiento de la materia en la escala atómica.

No obstante, el admirar únicamente nuestros propios triunfos como si carecieran de pasado (y estuvieran ciertos del futuro), sería hacer una caricatura del conocimiento. Para la consecución humana y particularmente para la científica, el conocimiento no constituye un museo de

construcciones terminadas. Es una progresión en la cual los primeros experimentos de los alquimistas son también parte constitutiva, así como lo es la aritmética avanzada que los astrónomos mayas de la América Central crearon por sí mismos e independientemente del Viejo Mundo. La ciudad pétrea de Machu Picchu en los Andes y la geometría de la Alhambra en la España morisca nos parecen, cinco siglos después, obras exquisitas de arte decorativo. Pero si detenemos nuestra apreciación en este punto, pasamos por alto la originalidad de las dos culturas que las edificaron. En su propio tiempo, estas construcciones fueron tan grandiosas e importantes para sus pueblos como en el día de hoy lo es para nosotros la arquitectura del DNA.

En cada época hay un punto decisivo, una nueva forma de ver y asegurar la coherencia del mundo. Está plasmado en las estatuas de la Isla de Pascua, que lograron detener el tiempo, y en los relojes medievales de Europa, que alguna vez también dieron la impresión de decir para siempre la última palabra acerca de los ciclos. Cada cultura intenta fijar su momento visionario, una vez que es transformada por una nueva concepción bien de la naturaleza o del hombre. Pero retrospectivamente, lo que llama nuestra atención son las continuidades; los pensamientos que aparecen o reaparecen de una a otra civilizaciones. No hay nada tan inesperado en la química moderna como la obtención de aleaciones con nuevas propiedades; esto fue descubierto después del nacimiento de Cristo, en la América del Sur, mucho tiempo antes en Asia. La separación y fusión del átomo se derivan conceptualmente a partir de un descubrimiento hecho en tiempos prehistóricos: el de que la piedra y toda la materia poseen una estructura que puede ser separada y vuelta a unir en nuevas formas. Y el hombre realizó descubrimientos biológicos casi entonces: la agricultura – la adaptación del trigo silvestre, por ejemplo – y la sorprendente idea de domar y luego montar el caballo.

Al seguir los puntos decisivos y las continuidades de la cultura, habré de seguir un orden general aunque no estrictamente cronológico, debido a que lo que me interesa a mí es la historia de la mente humana considerada como un desdoblamiento de sus diversas capacidades, habré de relacionar sus ideas, y particularmente sus ideas científicas, con los orígenes de las dotes con que la naturaleza le ha enriquecido y que le hacen único. Lo que habré de presentar, lo que me ha fascinado durante muchos años, es la forma en que las ideas del hombre expresan cuanto es esencialmente humano en su naturaleza.

Así, estos programas o ensayos constituyen una jornada a través de la historia del intelecto; una jornada personal cuya meta son los puntos culminantes de la consecución humana. El hombre asciende al descubrir los alcances de su potencial (sus talentos o facultades) y lo que crea en su camino son monumentos a las etapas de su comprensión de la naturaleza y de sí mismo, lo que el poeta W. B. Yeats denominó «monumentos del intelecto eterno».

¿Dónde deberíamos comenzar? Con la Creación; con la creación del hombre mismo. Charles Darwin indicó el camino con *El origen de las especies* en 1859, y después, en 1871, en su obra *La descendencia del hombre*. Es ahora casi seguro que el hombre evolucionó primero en África cerca del ecuador. Es típica de estos lugares – en los cuales pudo haberse iniciado su evolución – la región de las sabanas que se extiende a través del norte de Kenia y el suroeste de Etiopía, cerca del Lago Rodolfo. Este ocupa una larga franja norte y sur a lo largo del Valle del Gran Risco, festoneada por más de cuatro millones de años de gruesos sedimentos acumulados en la cuenca de lo que fue antes un lago mucho mayor. Buena parte de sus aguas provienen del sinuoso y lento Omo. Para los orígenes del hombre, esta es una zona posible: el valle del río Omo en Etiopía, cerca del Lago Rodolfo.

Las antiguas historias solían ubicar la creación del hombre en una edad dorada y en un bello paraíso legendario. Si yo estuviese narrando ahora la historia del Génesis, me encontraría en el Jardín del Edén. Pero, evidentemente, no es el Jardín del Edén. Empero, estoy en el ombligo mundo, en el sitio donde naciera el hombre, aquí, en el Valle del Risco del este de África, cerca del ecuador. Los desniveles de la Cuenca del Omo, los escarpes, el árido delta, registran un pasado histórico del hombre. Y si esto fue alguna vez un Jardín del Edén, se marchitó hace millones de años.



Figura 1. Para los orígenes del hombre esta es una zona posible. Estratos dispersos del Omo: la parte baja tiene una antigüedad de cuatro millones de años. Restos de los primeros homínidos se encuentran en niveles de estos estratos, procedentes de hace más de dos millones de años.

He escogido este sitio porque tiene una estructura única. En este valle se han depositado capa sobre capa de ceniza volcánica, separadas por anchas franjas de pizarra y arcilla durante los últimos cuatro millones de años. Este profundo depósito se formó en distintas épocas, estrato por estrato, visiblemente separados según su edad: cuatro millones de años de antigüedad, tres millones, más de dos millones, algo menos de dos millones. Y entonces el Valle del Risco lo dobló y mantuvo vertical, de modo que ahora es un mapa en el tiempo, el cual vemos extenderse hacia la distancia y el pasado. El registro del tiempo en las estratificaciones, generalmente sepultadas bajo nuestros pies, ha sido derribado sobre las escarpas que flanquean el Omo y dispersadas como las aspas de una hélice.

Tales escarpas son los estratos en las márgenes: en primer término el nivel inferior – de cuatro millones de años de antigüedad – y después el siguiente menos profundo, de bastante más de tres millones. Los restos de una criatura humanoide aparecen después, junto con los de animales que vivieron en la misma época.

Los animales son una sorpresa, porque resulta que han cambiado muy poco. Cuando encontramos en el sedimento fangoso de dos millones de años de antigüedad fósiles de la criatura que habría de convertirse en hombre, nos quedamos atónitos ante las diferencias entre su esqueleto y el nuestro; como el desarrollo del cráneo, por ejemplo. Sería entonces de esperar que los animales de la sabana también hubieran cambiado grandemente. Pero el registro fósil de Africa demuestra que esto no es así. Miremos al antílope topi como el cazador lo ve hoy. El antepasado del hombre que cazaba al ancestro de este animal hace dos millones de años, reconocería de inmediato al topi actual. Pero no reconocería al cazador moderno, negro o blanco, como su propio descendiente.

Sin embargo, no es la caza en sí (o cualquiera otra simple actividad) lo que ha cambiado al hombre. Pues encontramos que, entre los animales, el cazador ha cambiado tan poco como su presa. El leopardo sigue siendo poderoso en la persecución y la gacela muestra idéntica agilidad para escapar; ambos perpetúan la misma relación entre sus especies, al igual que antaño. La evolución humana se inició cuando el clima africano se convirtió en árido: los lagos disminuyeron de tamaño y la vegetación se redujo hasta convertirse en sabana. Y, evidentemente, fue una bendición para el precursor del hombre el no encontrarse bien adaptado a estas condiciones. Por que el medio cobra un precio por la supervivencia de los mejor adaptados: los captura. Cuando animales como la cebra de Grevy se adaptaron a la árida sabana, ésta se convirtió en una trampa en el tiempo así como en el espacio; permanecieron

Casi como los ángeles

donde estaban y casi tal como eran. El mejor adaptado de todos estos animales es, sin duda, la gacela de Grant: a pesar de eso, su grácil salto nunca la sacó de la sabana.



Figura 2. Los animales son una sorpresa, porque resulta que han cambiado muy poco. Cuernos de nyala modernos y arcaicos del Omo. Los arcaicos tienen más de dos millones de años.

En un candente paisaje africano como el del Omo, el hombre puso por vez primera su planta sobre el suelo. Esto parece una manera pedestre de iniciar el ascenso del hombre: sin embargo, es crucial. Hace dos millones de años, el primer ancestro comprobado caminaba con un pie prácticamente igual al del hombre moderno. El hecho es que, cuando puso su planta sobre el suelo y caminó erguido, el hombre se comprometió a una nueva integración vital y, por ende, de sus miembros.

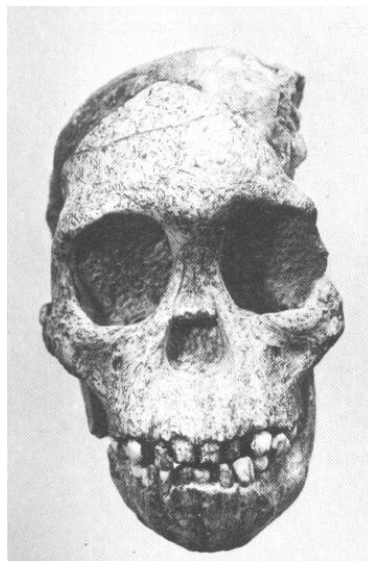


Figura 3. Desconozco cómo se inició la vida del niño de Taung: pero a mi parecer sigue siendo el infante primordial, a partir del cual principió toda la aventura del hombre. Cráneo del niño de Taung.

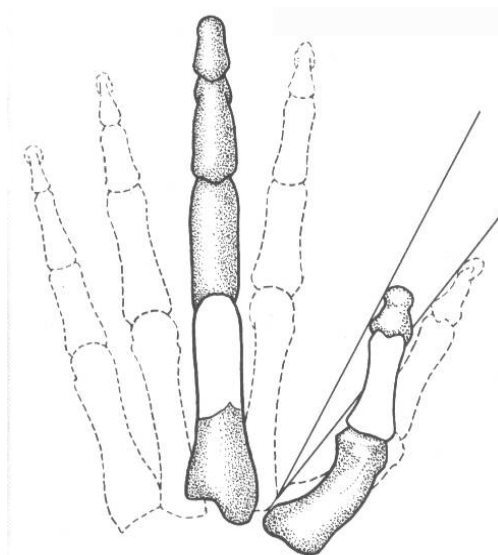


Figura 4. Los antecesores del hombre poseían un pulgar corto y, por lo tanto, no podían manipular muy delicadamente.

Huesos del dedo medio y pulgar del Australopithecus, descubiertos en las capas más profundas del desfiladero de Olduvai, sobrepuestos a los huesos de una mano moderna.

El órgano en que nos vamos a concentrar es, naturalmente, la cabeza, por que de todos los órganos humanos ha sido el que ha experimentado mayores y más importantes cambios formativos. Felizmente, la cabeza deja un fósil duradero (a diferencia de los órganos blandos), y aunque registra menos información de la que deseáramos acerca del cerebro, al menos nos proporciona alguna medida de su tamaño. En los últimos cincuenta años se ha encontrado un buen número de cráneos fósiles en el sur de África, los cuales determinan la estructura característica de la cabeza cuando empezó a parecerse a la humana. La figura 3 muestra el aspecto que tenía hace dos millones de años. Se trata de un cráneo histórico, hallado no en el Omo sino al sur del Ecuador, en un lugar llamado Taung, por el anatomista Raymond Dart. Es de un niño de cinco o seis años de edad, y aunque la cara se encuentra casi completa, desgraciadamente se ha perdido una parte del cráneo. Fue, en 1924, un hallazgo desconcertante, el primero en su clase, y se trató con cautela aún después de los trabajos iniciales que Dart realizó con este fósil.

No obstante, Dart reconoció al instante dos rasgos extraordinarios. El primero es que el *foramen magnum* (es decir, el orificio en la base del cráneo a través del cual pasa la médula espinal para insertarse en el cerebro) es vertical; de modo que se trata de un niño que sostenía su cabeza en alto. Esta es una característica humana, pues en los monos y los simios la cabeza cuelga delante de la espina y no se asienta sobre esta. El segundo es la dentadura. Los dientes son siempre reveladores. En este caso son pequeños y cuadrados – correspondientes a la primera dentición –, no son los grandes y atildados caninos propios de los simios. Esto significa que esta criatura alcanzaba las hierbas con las manos y no directamente con la boca. La evidencia de los dientes implica también que probablemente comía carne, carne cruda; y que, casi con certeza, esta criatura con habilidad manual fabricaba herramientas, herramientas de guija, hachas de piedra, para labrar y cazar.

Dart llamó a esta criatura *Australopithecus*. No es nombre que me agrade; significa solo mono del sur, pero es un nombre confuso para una criatura africana que por vez primera no era un simio. Sospecho que Dart, nacido en Australia, puso un toque malicioso en su elección del nombre.

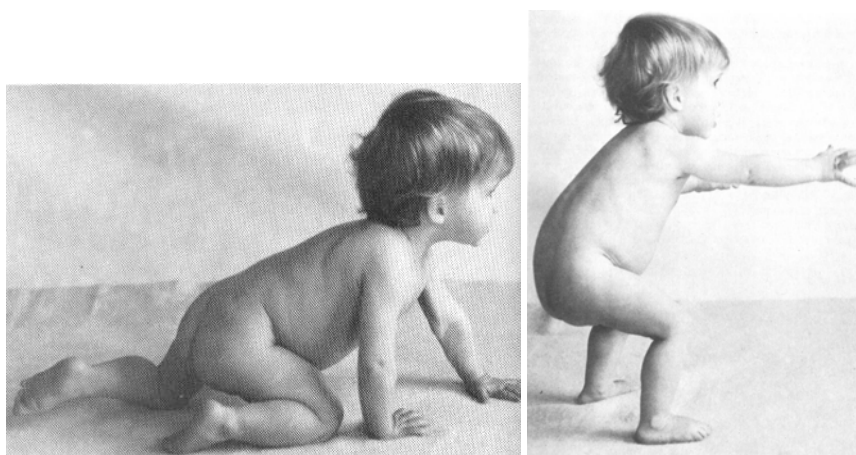
Tomó diez años el encontrar más cráneos – esta vez adultos – y no fue sino hacia fines de la década de 1950 que la historia del *Australopithecus* se formalizó. Se inició en Sudáfrica, pasó

después al norte, al desfiladero Olduvai en Tanzania, y más recientemente tuvieron lugar los más valiosos hallazgos de fósiles y herramientas en la cuenca del Lago Rodolfo. Esta historia es una de las delicias científicas del siglo. Es tan estimulante como los descubrimientos en física anteriores a 1940, y los obtenidos en biología desde 1950; y es tan satisfactoria como éstos por la luz que esparce sobre nuestra naturaleza como seres humanos.

Para mí, el pequeño *Australopithecus* conlleva una historia personal. En 1950, cuando su condición humana no era de ninguna manera aceptada, se me pidió realizar una prueba matemática. ¿Podría yo relacionar el tamaño de los dientes del niño de Taung con su forma y así determinar que no correspondían a los de un simio? Nunca antes había tenido un cráneo fósil en mis manos y de ningún modo era yo un experto en dentaduras. Pero todo resultó bastante bien y me produjo un sentimiento estimulante que recuerdo en este instante. Yo, con más de cuarenta años, con una vida dedicada a la matemática abstracta acerca de la forma de las cosas, vi de pronto cómo mis conocimientos se desplazaban dos millones de años atrás y proyectaban una luz en la historia del hombre. Fue algo grandioso.

Y desde ese momento me dediqué de lleno a meditar acerca de lo que hace al hombre ser lo que es: en la labor científica que he realizado desde entonces, en las obras que he escrito y en estos programas. ¿Cómo se convirtieron los homínidos en el hombre que yo admiro: diestro, observador, pensante, apasionado, capaz de manipular con la mente los símbolos del lenguaje y de la matemática, los conceptos de arte y geometría, de poesía y ciencia? ¿Cómo el ascenso del hombre le llevó desde sus inicios animales hasta despertar su interés por el funcionamiento de la naturaleza, el entusiasmo por el conocimiento, del cual estos ensayos son una expresión? Desconozco cómo se inició la vida del niño de Taung; pero a mi parecer sigue siendo el infante primordial, a partir del cual principió toda la aventura del hombre.

El bebé humano, el ser humano, es un mosaico de animal y ángel. Por ejemplo, el reflejo que hace al niño patear está ya en el útero materno – toda madre lo sabe – y se manifiesta en todos los vertebrados. El reflejo es autosuficiente, pero da la pauta para movimientos más complejos que tendrán que practicarse antes de convertirse en automáticos. Aquí, a los once meses, los reflejos obligan al bebé a gatear. Esto acarrea movimientos nuevos, los cuales se consolidan y quedan registrados en el cerebro (específicamente en el cerebelo, donde se integran la acción muscular y el equilibrio), para formar todo un repertorio de movimientos sutiles y complejos que se constituirán en su segunda naturaleza. Ahora el cerebelo está al control. Todo lo que la mente consciente tiene que hacer es enviar una orden. Y a los catorce meses el control ordena ¡Levántate! El niño ha registrado el compromiso humano de caminar erguido.



*Figura 5. El niño ha registrado el compromiso humano de caminar erguido.
Niño de 14 meses que empieza a caminar.*

Cada acción humana tiene su origen, en alguna medida, en nuestro ascendiente animal; seríamos criaturas frías y solitarias de ser privados de esa corriente vital. No obstante, cabe preguntarse: ¿Cuáles son los dones físicos que el hombre debe compartir con los animales y cuáles son los que lo hacen diferente? Consideremos cualquier ejemplo – cuanto más palpable mejor –, digamos, la acción simple de un atleta cuando corre o salta. Cuando escucha el disparo, la respuesta inicial del corredor es la misma que impele a escapar a la gacela. Su acción parece eminentemente animal. Se aceleran los latidos cardíacos; cuando el corredor alcanza su velocidad máxima, su corazón bombea cinco veces mayor cantidad de sangre de lo normal, la cual, en un noventa por ciento, va a irrigar los músculos. En ese momento necesita setenta y cinco litros de aire por minuto para oxigenar la sangre que ha de llegar a los músculos.

El recorrido violento de la sangre y el ingreso de aire pueden hacerse visibles, ya que se manifiestan como calor en las películas infrarrojas sensibles a dicha radiación. (Las zonas azules o brillantes son las más calientes; las rojas u oscuras, las más frías.) El flujo que observamos y que la cámara infrarroja analiza, constituye un subproducto que señala el límite de la acción para los músculos al quemarse en ellos el azúcar; pero tres cuartas partes de esta energía se pierden al convertirse en calor. Y existe otro límite, que es igual en el corredor que en la gacela, el cual es más severo. A esta velocidad, la combustión química en los músculos es demasiado rápida para ser completa. Los productos de desecho de la combustión incompleta, principalmente el ácido láctico, contaminan ahora la sangre. Esta es la causa de la fatiga y también del bloqueo de la acción muscular hasta que la sangre pueda ser descontaminada con oxígeno fresco.



Figura 6. La mente del atleta se proyecta más allá de sí mismo, forjando su pericia; y en su imaginación salta hacia el futuro.

Atleta a punto de saltar y en el clímax de la acción. Fotografía en infrarrojo de la cabeza y del torso de un atleta fatigado.

Hasta aquí, no hay nada que distinga al atleta de la gacela: todo ello, de una manera u otra, constituye el metabolismo normal de un animal huyendo o escape. Pero existe una diferencia cardinal: el corredor no está huyendo. El disparo que le hizo impulsarse provenía de la pistola del juez de salida, y lo que experimentó, deliberadamente, no fue miedo sino exaltación. El corredor es como un niño que juega; sus acciones son un rito de libertad y el único propósito de su agotador esfuerzo es el de explorar los límites de su propia fuerza.

Naturalmente, existen diferencias físicas entre el hombre y los demás animales, aun entre el hombre y los simios. Por ejemplo, el atleta sujeta la garrocha en forma tal que ningún simio puede igualar. Sin embargo, estas diferencias son secundarias en comparación con otra fundamental consiste en que el atleta es un adulto cuyo comportamiento no está regido por su ambiente inmediato, como lo están las acciones animales. En sí mismas, las acciones del deportista parecen no tener ningún sentido práctico; son un ejercicio que no está encaminado al presente. La mente del atleta se proyecta más allá de sí mismo, forjando su pericia; y en su imaginación salta hacia el futuro.

Impulsado por la garrocha, el saltador constituye un conjunto de habilidades inhumanas; la posición de la mano, el arco del pie, los músculos de los hombros y de la pelvis; la misma garrocha, en la cual la energía se acumula y es liberada como un arco que dispara una flecha. El carácter crucial de este conjunto de elementos es el sentido de prevenir, es decir, la habilidad de poderse fijar un objetivo delante de sí y de mantener rigurosamente su atención en él. La actuación del atleta revela un plan continuado; de un extremo a otro, es la invención de la garrocha, la concentración de la mente en el momento anterior al salto, lo que proporciona la estampa de humanidad.

La cabeza es más que una imagen simbólica del hombre; es el asiento de la previsión del porvenir y; en este respecto, el resorte que impulsa la evolución cultural. Por lo tanto, si voy a visualizar el ascenso del hombre desde sus inicios en el animal, la evolución de la cabeza y del cráneo es lo que conviene investigar. Desafortunadamente, pese a tratarse de algo más de cincuenta millones de años, contamos sólo con seis o siete cráneos esencialmente distintos que podemos identificar como etapas de dicha evolución. Es indudable que, sepultados en el registro fósil, debe haber muchos otros pasos intermedios, algunos de los cuales serán encontrados; pero mientras esto no ocurra tendremos que atenernos a conjeturas sobre lo acaecido, estableciendo una secuencia aproximada entre cráneos conocidos. La mejor manera de calcular estas transiciones geométricas de un cráneo a otro es a través de una computadora; de modo que, con el fin de trazar una continuidad, presento los cráneos a una computadora con un exhibidor visual que los analizará de uno en uno.

Empezaremos cincuenta millones de años atrás, con una pequeña criatura arborícola, el lémur; su nombre, apropiadamente, es el de los espíritus romanos de la muerte. El cráneo fósil pertenece a la familia de lémures *Adapis* y fue hallado en un depósito cretoso en las afueras de París. Cuando la parte inferior del cráneo se mira, puede observarse el *foramen magnum* notablemente hacia atrás, pues se trataba de una criatura cuya cabeza colgaba de la espina dorsal y no se sostenía sobre ésta. Es posible que se alimentase de insectos y frutos, y tenía más de las treinta y dos piezas dentales que el hombre y la mayoría de los primates presentan actualmente.

El lémur fósil presenta algunas marcas esenciales de los primates, es decir, de la familia del mono, del simio y del hombre. Por los restos del esqueleto sabemos que tenía uñas y no garras. Tenía un pulgar oponible cuando menos a una parte de la mano. Y presenta en el cráneo dos rasgos sobresalientes que señalan la vía hacia el inicio del hombre. El hocico es corto, los ojos grandes y muy separados. Esto significa que ha habido una selección contra el sentido olfato y en favor del sentido de la vista. Las fosas oculares se encuentran todavía marcadamente hacia los extremos del cráneo, a ambos lados del hocico; pero sus ojos, comparados con los de insectívoros anteriores, más primitivos, han comenzado a ubicarse hacia el frente y a proporcionar visión estereoscópica. Estos son signos pequeños de un desarrollo evolutivo encauzados a dar forma a la compleja estructura del rostro humano; y aun así, partir de ese

momento, el hombre se inicia.

Esto sucedió hace cincuenta millones de años, en números redondos. En los siguientes veinte millones de años, la línea que conduce hacia los monos se ramifica separándose a partir de la línea principal hasta los simios y el hombre. La siguiente criatura en la línea principal, que data de treinta millones, fue el cráneo fósil, hallado en el Fayum, Egipto, denominado *Aegyptopithecus*. Tiene un hocico más corto que el del lémur, sus dientes recuerdan los del simio y es más corpulento, aunque sigue siendo arborícola. Pero desde ese momento, los ancestros de los simios y del hombre habrían de pasar parte de su vida en el suelo firme.

Otros diez millones de años nos conducirán a veinte millones de años atrás, cuando aparecen en Africa del Este, Europa y Asia los que podríamos denominar como simios antropoides. Un hallazgo clásico realizado por Louis Leakey ostenta el digno nombre de *Procónsul*; y hay cuando menos otro género tan conocido, el *Dryopithecus*. (El nombre *Procónsul* es producto del ingenio antropológico fue concebido para sugerir que se trataba del ancestro de un famoso chimpancé del zoológico de Londres en 1931, cuyo mote era el de Cónsul) El cerebro es ostensiblemente más grande y los ojos están completamente en frente para permitir la visión estereoscópica. Estos desarrollos nos revelan los avances de la línea evolutiva del simio y del hombre. Mas si, como es factible, había sufrido ya nuevas ramificaciones en lo concerniente al hombre, esta criatura pertenece a la línea ramificada de los simios. Su dentadura nos indica que se trata de un simio por la forma en que su mandíbula está cerrada por los grandes caninos, lo cual no ocurre con la del hombre.

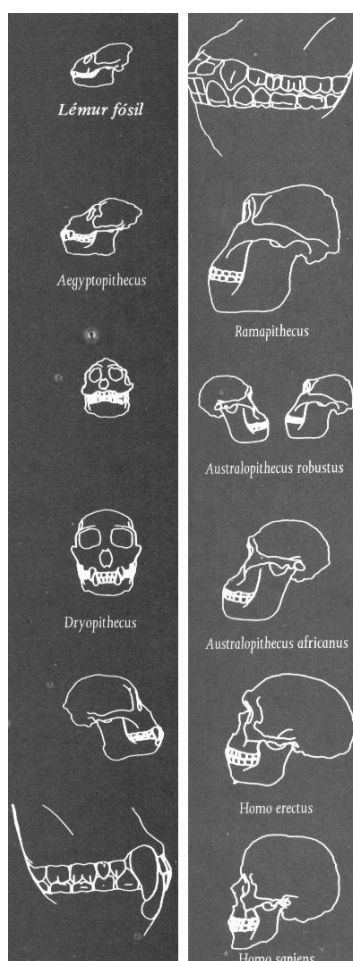


Figura 7. La cabeza es el resorte que impulsa la evolución cultural.
Gráfica de computadora que muestra las etapas de la evolución de la cabeza.

Casi como los ángeles

Es este cambio en la dentición el que señala la separación de la línea que conduce al hombre. El primer precursor que conocemos es el *Ramapithecus*, encontrado en Kenia y en la India. Esta criatura data de hace catorce millones de años y sólo tenemos fragmentos de la mandíbula. Pero es claro que sus dientes están nivelados y son más humanos. Ya no se presentan los grandes caninos de los simios antropoides; la cara es mucho menos prominente y es evidente que nos aproximamos a una rama del árbol evolutivo; algunos antropólogos clasifican drásticamente al *Ramapithecus* entre los homínidos.

Existe una laguna de cinco a diez millones de años en el registro fósil. Inevitablemente, esta laguna oculta la parte más intrigante de la historia, cuando la línea que va de los homínidos al hombre se aparta con firmeza de la línea de los simios modernos. Sin embargo, no hemos encontrado todavía un registro inequívoco de ello. Es posible entonces que, a cinco millones de años, encontremos a los verdaderos parientes del hombre.

Un primo del hombre, aunque no en línea directa con nosotros, es el fornido *Australopithecus* que era vegetariano. El *Australopithecus Robustus* es parecido al hombre y su línea evolutiva no nos conduce a ninguna otra parte; simplemente, se extinguió. La prueba de que vivía de plantas la encontramos de nuevo en su dentadura y es sumamente directa los dientes que persisten están cariados por la arenisca que cubría las raíces con que se alimentaba.

Su primo en la línea hacia el hombre es más ligero – lo cual es visible en la mandíbula – y se trata probablemente de un carnívoro. Es la máxima aproximación conocida a lo que hemos denominado el “eslabón perdido” el *Australopithecus africanus*, uno de los diversos cráneos fósiles hallados en Sterkfontein en el Transvaal y en otros sitios del Africa; es perteneciente a una hembra adulta. El niño de Taung, con el cual empecé, se habría parecido a ella de haber crecido; completamente erguido, caminando y con un cerebro de mayor tamaño, que pesaba entre quinientos y ochocientos gramos. Este es el tamaño del cerebro de un simio grande moderno; aunque, por supuesto, esta era una criatura pequeña, pues media sólo 1,20 m. Ciertamente es que hallazgos recientes de Richard Leakey sugieren que hace dos millones de años, aproximadamente, el cerebro ya había aumentado de tamaño más incluso que eso.

Y con un cerebro mayor, los antepasados del hombre realizarían dos inventos trascendentales, de uno de los cuales tenemos evidencia visible y del otro inferible evidencia. En primer término, la invención visible. Hace dos millones de años, el *Australopithecus* elaboraba herramientas rudimentarias de piedra cuyos cantos afilaba a base de golpes. Y durante el millón de años subsecuente, el hombre, en plena evolución, no cambió este tipo de herramienta. Había realizado la invención fundamental, el acto deliberado de preparar y guardar una guija o piedra para su uso posterior. Merced a este impulso de habilidad y previsión, acto simbólico de descubrimiento del futuro, había aflojado el freno que el ambiente impone a todas las demás criaturas. El uso constante de la misma herramienta por tanto tiempo, demuestra la fuerza del invento. La sostenían de modo simple, presionando el extremo más grueso contra la palma de la mano, con gran vigor. (Los antecesores del hombre poseían un pulgar corto y, por lo tanto, no podían manipular muy delicadamente, pero podían emplear la presión de fuerza.) Y, por supuesto, constituye una herramienta que casi con certeza empleaban, como consumidores de carne, para ablandar y cortar ésta.

El otro invento es de tipo social y lo deducimos mediante sutiles cálculos aritméticos. Los cráneos y los esqueletos del *Australopithecus* que se han descubierto hasta la fecha en grandes cantidades, indican que la mayoría pereció antes de alcanzar los veinte años de edad. Esto significa que debían abundar los huérfanos. Pues el *Australopithecus* sin duda tenía una prolongada infancia, al igual que todos los primates; a los diez años de edad, digamos, los supervivientes eran niños todavía. Por lo tanto, deben haber constituido una organización social en la cual los niños eran cuidados y (tal si fueran) adoptados, convirtiéndose en parte de la comunidad; de modo que en un sentido general podría decirse que eran educados. Este es un gran paso hacia la evolución cultural.

¿En qué momento podríamos decir que los precursores de hombre se convierten en el hombre mismo? Es esta una cuestión delicada, a causa de que tales cambios no suceden de un día para

otro. Sería torpe intentar hacerlos aparecer como más repentinos de lo que en realidad fueron, fijar la transición con demasiada precisión o bien polemizar acerca de los nombres. Hace dos millones de años no éramos hombres todavía. Hace un millón de años ya lo éramos, pues a la sazón aparece una criatura que puede llamarse *Homo*, el *Homo erectus*, que se difunde más allá del Africa. El hallazgo clásico del *Homo erectus* ocurrió de hecho en China. Es el hombre de Pekín, que se remonta a cuatrocientos mil años, y que es la primera criatura que con certeza usaba el fuego.

Los cambios que en el *Homo erectus* llevan a nosotros son sustanciales durante más de un millón de años, pero parecen graduales en comparación con los que ocurrieron anteriormente. El mejor conocido de los sucesores fue encontrado por vez primera en Alemania durante el siglo pasado: otro cráneo clásico, el hombre de *Neanderthal*. Ya poseía un cerebro que pesaba kilogramo y medio, tan grande como el del hombre moderno. Es probable que algunas líneas del hombre de *Neanderthal* se hayan extinguido; pero parece factible que una línea del Este Medio llegase directamente hasta nosotros, la del *Homo sapiens*.

Más o menos en el último millón de años, el hombre efectuó un cambio en la calidad de sus herramientas, lo que presumiblemente señala un refinamiento biológico de la mano durante este período, y en especial de los centros cerebrales que controlan la mano. Es la criatura más perfeccionada (biológica y culturalmente) del último medio millón de años, ya que podía hacer más que copiar las arcaicas herramientas de piedra que se remontaban al *Australopithecus*. Elaboraba herramientas que requieren de una manipulación más delicada en su manufactura y, naturalmente, en su utilización. El desarrollo de tales refinados talentos y el empleo del fuego no son un fenómeno aislado. Por el contrario, debemos siempre tener presente que el verdadero contenido de la evolución (tanto biológica como cultural) es la elaboración de un nuevo comportamiento. Y es debido únicamente a que el comportamiento no deja fósiles, que nos vemos forzados a buscarlos en huesos y dientes. Estos, por sí mismos, no son interesantes, ni siquiera para la criatura a que pertenecían; le servían como equipo para la acción, y para nosotros son interesantes por que, como equipo, denotan sus actividades, y los cambios en el equipo revelan cambios en comportamiento y talento.

Por esta razón, los cambios ocurridos en el hombre durante su evolución no tuvieron lugar por partes. No fue ensamblado con el cráneo de un primate y la mandíbula de otro; este concepto erróneo es demasiado ingenuo para ser real, y sólo puede crear otro fraude como el cráneo de *Pitldown*. Cualquier animal, y especialmente el hombre, es una estructura altamente integrada, cuyas partes deben cambiar como un todo al tiempo que cambia su comportamiento. La evolución del cerebro, de la mano, de los ojos, de los pies, de los dientes, la estructura humana toda, constituyen un mosaico de dones especiales y, en cierto sentido, cada uno de estos capítulos es un ensayo de algún don humano especial. Estos dones han hecho de él lo que es, más rápido en evolucionar y con un comportamiento más rico y más flexible que el de cualquier otro animal. A diferencia de las criaturas (algunos insectos, por ejemplo) que han permanecido inalterados durante cinco, diez, incluso cincuenta millones de años, el hombre ha cambiado durante este tiempo a escala más allá de todo posible reconocimiento. El hombre no es la más majestuosa de las criaturas. Antes incluso que los mamíferos, los dinosaurios eran decididamente más espléndidos. Pero él posee algo que los demás animales no tienen: un caudal de facultades que por sí solo, en más de tres millones de años de vida, le hizo creativo. Cada animal deja vestigios de lo que fue; sólo el hombre deja vestigios de lo que ha creado.

El cambio de alimentación es importante en una especie cambiante en un período como de cincuenta millones de años. Las primeras criaturas en la secuencia hacia el hombre poseían ojos vivos, dedos delicados, y eran insectívoros y frugívoros como los lémures. Los primeros simios y homínidos, desde el *Aegyptopithecus* y el Procónsul hasta el *Australopithecus* corpulento, se cree que pasaron sus días alimentándose básicamente de vegetales. Pero el *Australopithecus* ágil rompió con la costumbre primate arcaica del vegetarianismo.

El cambio de la alimentación vegetariana a la omnívora, una vez ocurrido, persistió en el *Homo erectus*, en el hombre de *Neanderthal* y en el *Homo sapiens*. A partir del ancestral

Casi como los ángeles

Australopithecus ágil en adelante, la familia del hombre comió alguna carne; primero animales pequeños, de mayor tamaño después. La carne es una proteína más concentrada que la planta, y el consumir carne disminuye en dos tercios el volumen y el tiempo de ingestión de los alimentos. Fueron de gran alcance para la evolución del hombre las consecuencias de esto. Dispuso de más tiempo libre, y podía emplearlo en formas más indirectas, para proveerse de alimentos procedentes de distintas fuentes (como los grandes animales), que no podía cazar por hambrienta fuerza bruta. Evidentemente, eso ayudó a impulsar (por selección natural) la tendencia de todos los primates a interponer una demora interna en el cerebro, entre el estímulo y la respuesta, hasta que hubo desarrollado la habilidad eminentemente humana de posponer la satisfacción del deseo.

Pero el efecto más marcado de una estrategia indirecta encauzada a la adquisición de alimentos es, evidentemente, el fomento de la actividad social y de la comunicación. Una criatura poco veloz como el hombre puede acechar, perseguir y acorralar a un gran animal de la sabana adaptado a huir, únicamente por cooperación. La cacería requiere de un planeamiento y de una organización conscientes a través del lenguaje, así como de armas especiales. Ciertamente que el lenguaje, tal cual lo usamos, contiene algo del carácter de un plan de cacería, en el sentido de que (a diferencia de los animales) nos instruimos recíprocamente mediante frases que se amalgaman y que proceden de unidades movibles. La caza es una empresa comunitaria de la cual el clímax, y sólo el clímax, es el matar.

La caza en un solo lugar no puede sostener a una población en crecimiento; el límite de la sabana no era superior a dos personas por milla cuadrada. Con esa densidad, la superficie terrestre total del planeta podría mantener únicamente a la población actual de California, cerca de veinte millones, y no podría mantener a la población de la Gran Bretaña. La disyuntiva para los cazadores era brutal moverse o morir de inanición.

Y se movilizaron distancias prodigiosas. Hace un millón de años, se encontraban en África del Norte. Hace setecientos mil años, o incluso antes, se hallaban en Java. Hace cuatrocientos mil años, se habían desplegado y emigrado hacia el norte, a China en el este y a Europa en el oeste. Estas increíbles migraciones expansivas hicieron del hombre, desde un principio, una especie difundida ampliamente, pese a que el número total de sus componentes era muy pequeño, tal vez de un millón.

Lo que resulta aun más sorprendente es que el hombre se trasladó hacia el norte precisamente después de que la temperatura descendía a punto de congelación. En esa gran era glacial, el hielo brotaba de la tierra. Desde tiempo inmemorial, el clima septentrional se había mantenido templado, virtualmente durante varios centenares de millones de años. No obstante, antes de que el *Homo erectus* se estableciera en China y en el norte de Europa, se iniciaba la secuencia de las tres Glaciaciones autónomas.

Cuando la primera de las Glaciaciones pasaba por su clímax, el hombre de Pekín vivía en cuevas, hace cuatrocientos mil años. No es sorprendente encontrar restos de las fogatas encendidas en esas cuevas por primera vez. El hielo se desplazó hacia el sur y se retrajo tres veces, y la tierra cambió en cada ocasión. Las capas de hielo llegaron a contener tal cantidad de agua que el nivel de los mares descendió ciento veinte metros. Después de la segunda Glaciación, hace más de doscientos mil años, apareció el hombre de *Neanderthal* con su cerebro grande y se destacaría durante la última Glaciación. Las culturas del hombre que mejor reconocemos se iniciaron en la Glaciación más reciente, en los últimos cien o incluso cincuenta mil años. Es entonces cuando encontramos las herramientas más elaboradas que revelan métodos de cacería perfeccionados el lanzador de venablos, por ejemplo; y el bastón que hacía las veces de martillo; el arpón de múltiples púas; y, por supuesto, los instrumentos de pedernal necesarios para fabricar estas armas. Resulta evidente que entonces, como ahora, los inventos pueden ser escasos pero se difunden rápidamente a través de una cultura. Por ejemplo, hace quince mil años, los cazadores magdalenienses del sur de Europa inventaron el arpón. En el período inicial de su invención los arpones magdalenienses carecían de púas; después mostraban una sola hilera de anzuelos; y hacia el fin del período, mientras acontecía el

florecimiento del arte rupestre, los arpones ya presentaban una doble hilera de anzuelos. Los cazadores magdalenienses decoraban sus herramientas de hueso; esto permite precisar la época y el lugar de origen de sus creadores, por medio del refinamiento de estilo que ostentan. Son, en sentido estricto, fósiles que registran la evolución cultural del hombre en su progresión ordenada.

El hombre sobrevivió a la terrible prueba de las Glaciaciones gracias a que contaba con la flexibilidad mental de reconocer los inventos y convertirlos en propiedad de la comunidad. Obviamente, las Glaciaciones originaron un cambio profundo en el estilo de vida del hombre. Lo forzaron a depender menos de las plantas y más de los animales. Los rigores de la cacería al borde del hielo también cambiaron su estrategia. Se hizo menos atrayente la caza de animales solos, aunque fuesen grandes. La mejor alternativa era la de seguir a los rebaños y no perderlos de vista; aprender a anticipárseles y, en fin, adoptar sus hábitos, incluyendo sus frecuentes migraciones. Esta es una adaptación particular, la forma trashumante de vida en movimiento tiene algunas de las cualidades primitivas de la caza, porque es una persecución; la comida animal determinaba el lugar y el paso. Y poseía algunas de las cualidades posteriores de la ganadería, porque el animal era cuidado y, como lo era, preservado como un depósito alimenticio móvil.

La forma trashumante de vida constituye en la actualidad un fósil cultural y ha sobrevivido escasamente. El único grupo humano que aún conserva ese estilo de vida es el de los lapones, en el extremo norte de Escandinavia, que siguen a los renos como lo hicieron durante las Glaciaciones. Es posible que los ancestros de los lapones llegaran al norte desde la escarpada zona francocantábrica de los Pirineos, tras la pista del reno, una vez que las últimas capas de hielo se hubieron retraído del sur de Europa, hace doce mil años. Existen actualmente treinta mil lapones y trescientos mil renos, y su forma de vida está próxima a desaparecer. Los rebaños emprenden sus propias migraciones a través de los fiordos, de un pastizal gélido de líquen a otro, y los lapones van con ellos. Pero los lapones no son pastores; no controlan al reno ni lo han domesticado. Se limitan a seguirlo a dondequiera que va.

A pesar de que los hatos de renos siguen siendo; en efecto, salvajes, los lapones poseen algunos de los inventos tradicionales para controlar individualmente a estos animales; los mismos que también otras culturas han descubierto por ejemplo, ellos hacen a algunos machos tan manejables como animales domésticos mediante la castración. Es una relación extraña. Los lapones dependen completamente de los renos consumen su carne diariamente a razón de medio kilogramo por cabeza; utilizan su piel, tendones y huesos; beben su leche y hasta hacen uso de su cornamenta. Empero, los lapones son más libres que los renos, debido a que su estilo de vida constituye una adaptación cultural y no biológica. La adaptación lograda por los lapones, la forma trashumante de vida en pleno movimiento en un paraje de hielo, es una opción que ellos podrían cambiar; no es irreversible como lo son las mutaciones biológicas. Pues una adaptación biológica es una forma congénita de comportamiento; pero la cultura es un comportamiento que se aprende o asimila – una forma preferida comunalmente – y que (como otras invenciones) ha sido adoptada por una sociedad completa.

En ello estriba la diferencia fundamental entre una adaptación cultural y una biológica; y ambas son demostrables en los lapones. La construcción de refugios de piel de reno es una adaptación que los lapones pueden cambiar el día de mañana, como ya lo está haciendo la mayoría de ellos. Por contraste, los lapones, o las líneas humanas que les precedieron, han experimentado también cierta adaptación biológica. En el *Homo sapiens*, las adaptaciones biológicas no son grandes; somos una especie bastante homogénea, debido a que nos hemos dispersado rápidamente por el mundo a partir de un solo centro. Sin embargo, se aprecian diferencias biológicas entre los grupos humanos, como todos sabemos. Las denominamos diferencias raciales, con lo cual queremos decir precisamente que no pueden ser cambiadas mediante una variación de hábitos o de hábitat. Usted no puede cambiar el color de su piel. ¿Por qué son blancos los lapones? El hombre comenzó con piel oscura; la luz solar produce vitamina D en su piel y, si él hubiese sido blanco en Africa, eso hubiera sido demasiado. Pero en el norte, el hombre necesita asimilar toda la luz solar posible, para producir suficiente

Casi como los ángeles

vitamina D, y la selección natural, por lo tanto, favoreció a aquellos de piel más blanca.

Las diferencias biológicas entre las distintas comunidades son así de modestas. La vida de los lapones no se ha regido por la adaptación biológica sino por la inventiva: por la utilización imaginativa de los hábitos del reno y de todos sus productos; por haberlo convertido en un animal de tiro; por sus artefactos y por el trineo. Sobrevivir en el hielo no depende del color de la piel; los lapones han sobrevivido, el hombre ha sobrevivido en las Glaciaciones, por el invento más importante de todos: el fuego.

El fuego es el símbolo del hogar, y desde que el *Homo sapiens* empezó a imprimir la huella de sus manos, hace treinta mil años, su hogar fue la cueva. Durante al menos un millón de años, el hombre ha vivido en determinada medida reconocible como forrajeador y cazador. Casi no contamos con monumentos de ese inmenso período de la prehistoria, mucho más prolongado que cualquier otro que hayamos registrado. Sólo hacia el final de esa era, y al inicio de la era glacial europea, encontramos en cuevas como la de Altamira (y en muchos otros sitios de España y del sur de Francia) el registro de lo que dominaba la mente del hombre cazador. Allí apreciamos lo que constituía su mundo y lo que le preocupaba. Las pinturas rupestres, que datan de hace veinte mil años aproximadamente, establecen para siempre la base universal de su cultura entonces, el conocimiento que el cazador tenía del animal del cual dependía.

Uno empieza por encontrar extraño que un arte tan vívido como la pintura rupestre sea, comparativamente, tan reciente y tan escaso. ¿Por qué no existen más monumentos de la imaginación visual del hombre, como existen de su inventiva? Sin embargo, cuando reflexionamos vemos que lo notable no es la escasez de monumentos sino que los haya en absoluto. El hombre es un animal débil, lento, torpe, inerme; tuvo que inventar una piedra, un pedernal, un cuchillo, una lanza. Pero, ¿por qué a estos inventos científicos, que le eran esenciales para sobrevivir, añadió el hombre desde un principio las artes que hoy nos asombran: los decorados con formas animales? Y, sobre todo, ¿por qué llegaba a cuevas como esta, vivía en ellas, y después realizaba pinturas de animales no donde vivía sino en lugares oscuros, secretos, remotos, ocultos, inaccesibles?.

Es obvio decir que en esos lugares el animal era mágico. Sin duda eso es cierto; pero magia es sólo una palabra, no una respuesta. En sí, magia es una palabra que no explica nada. Indica que el hombre creía tener poder, pero, ¿qué poder? Todavía queremos saber qué tipo de poder creían los cazadores haber obtenido de las pinturas.

Aquí, sólo puedo ofrecerle mi punto de vista personal. Creo que el poder que vemos expresado aquí por primera vez es el poder de anticipación: la imaginación proyectada hacia adelante. En estas pinturas el cazador se familiarizaba con peligros que sabía tendría que afrontar, pero que todavía no había arrojado. Cuando el cazador era traído a este sitio en medio de la oscuridad y de pronto se proyectaba una luz sobre las pinturas, veía al bisonte como lo tendría que ver frente a sí, veía al rápido venado, veía al esquivo jabalí. Y se sentía solo frente a ellos como se sentiría en la cacería. Se le hacía patente el momento del miedo; su brazo armado se flexionaba frente a una experiencia por venir y ante la cual no debería sentir miedo; El pintor había congelado el momento del miedo y el cazador pasaba por el a través de la pintura como a través de aire comprimido.

Para nosotros, las pinturas rupestres recrean el estilo de vida del cazador como un vislumbre de historia; vemos el pasado a través de ellas. Mas para el cazador, sugiero, constituyan una mirilla hacia el futuro; miraba hacia adelante. En cualquier dirección, las pinturas rupestres actúan como una especie de telescopio de la imaginación: dirigen la mente desde lo que se puede ver hasta lo que se puede inferir o conjeturar. Ciertamente que esto es así en la misma acción de pintar; pese a su superior detalle, la pintura plana sólo significa algo para el ojo debido a que la mente la rellena con redondez y movimiento, una realidad por inferencia, la cual no es realmente vista sino imaginada.

El arte y la ciencia son acciones privativas del hombre, fuera del alcance de lo que cualquier

animal puede hacer. Y aquí vemos que provienen de la misma facultad humana: la habilidad de visualizar el futuro, de prever lo que puede ocurrir y de hacer planes para anticiparse a ello y representárnoslo en imágenes que proyectamos y movemos en nuestra mente o en un cuadro de luz sobre la oscura pared de una cueva o en la pantalla de un televisor.

También vemos aquí a través del telescopio de la imaginación; la imaginación es un telescopio en el tiempo, pues estamos viendo retrospectivamente la experiencia del pasado. Los hombres que realizaron estas pinturas, los hombres entonces presentes, pudieron ver hacia adelante por el telescopio. Pudieron quizá prever el ascenso del hombre, porque lo que llamamos evolución cultural es fundamentalmente un desarrollo y un ensanchamiento constante de la imaginación humana.

Los hombres que elaboraron las armas y los que realizaron las pinturas estaban haciendo la misma cosa: anticipar el futuro como únicamente el hombre puede hacerlo, deduciendo el porvenir por el presente. El hombre posee múltiples dones que le son privativos; pero ocupando un lugar primordial, pues es en la raíz de la que crecen todos los conocimientos, se encuentra la habilidad de esbozar conclusiones a partir de lo que vemos para lo que no vemos, el transportar nuestras mentes a través del tiempo y del espacio y el reconocernos en el pasado en los pasos hacia el presente. En todas estas cuevas, la huella de la mano dice: «Esta es mi marca. Este es el hombre».

2 LA COSECHA DE LAS ESTACIONES

La historia del hombre está dividida muy desigualmente. Por un lado se encuentra su evolución biológica: todas las etapas que nos separan de nuestros antepasados simios. Las cuales se prolongaron durante millones de años. Y por otro lado está la historia de su cultura la gran marejada de la civilización que nos separa de las pocas tribus de cazadores del Africa que sobreviven o de los recolectores de alimentos de Australia. Y toda esta segunda laguna cultural está de hecho apiñada en unos pocos miles de años. Se remonta solamente a unos doce mil años: algo más de diez mil años, pero mucho menos de veinte mil. A partir de este momento me concretaré a hablar acerca de estos últimos doce mil años, que contienen prácticamente todo el ascenso del hombre tal como lo entendemos ahora. Sin embargo, la diferencia entre los dos elementos – entre la escala de tiempo biológica y la cultural – es tan grande, que no puedo dejar de echarle una mirada retrospectiva.

Le tomó al hombre cuando menos dos millones de años, el cambiar de criatura oscura y pequeña con la piedra en la mano – el *Australopithecus*, en Africa Central – a su configuración moderna: el *Homo sapiens*. Esto constituye el paso de la evolución biológica, aunque la evolución biológica del hombre haya sido más rápida que la de cualquier otro animal. Pero, para el *Homo sapiens*, ha tomado mucho menos de veinte mil años el dar origen a las criaturas que tanto usted como yo aspiramos ser artistas y científicos, edificadores de ciudades y planificadores del futuro, lectores viajeros, exploradores anhelantes del hecho natural y de la emoción humana, inmensamente más ricos en experiencia y en imaginación que cualquiera de nuestros ancestros. Este es el paso de la evolución cultural; una vez iniciado, avanza como el cociente de aquellos dos elementos cuando menos cien veces más rápido que la evolución biológica.

Una vez iniciado: esta es la frase crucial. ¿Por qué comenzaron tan recientemente los cambios culturales que han hecho al hombre amo de la Tierra? Hace veinte mil años que el hombre, donde quiera que se encontrase, era forrajeador y cazador, cuya técnica más avanzada era la de incorporarse a un hato errante como todavía lo hacen los lapones. Hace diez mil años ya había cambiado y empezado, en ciertos lugares, a domesticar algunos animales y a cultivar algunas plantas; y este es el cambio a partir del cual la civilización despegó. Resulta extraordinario pensar que sólo en los últimos doce mil años principió la civilización, tal como la entendemos. Tuvo que haber ocurrido una explosión extraordinaria hacia el año 10.000 a. de C y la hubo. Pero fue una explosión silenciosa. Se trataba del fin de la última Glaciación.

Podemos detectar el aspecto y, valga la expresión, olfatear el cambio en algún paisaje glacial. La primavera en Islandia se repite a sí misma año tras año; pero hubo ocasión en que se expandió por toda Europa y Asia cuando los hielos se retrajeron. Y el hombre, que había pasado por dificultades increíbles, errando desde el Africa durante el último millón de años, luchado a través de las Glaciaciones, se encontró de pronto en tierra fértil y rodeado de animales, lo cual le hizo adoptar un estilo de vida diferente.

Esto es llamado generalmente “la revolución agrícola”. Pero yo creo que es algo mucho más amplio: la revolución biológica. Hubo un entrelazamiento, una especie de salto entre el cultivo de plantas y la domesticación de animales, a través de ella se manifiesta la realización crucial de que el hombre domina su ambiente en el aspecto más importante, no físicamente sino al nivel de los seres vivos: plantas y animales. Al tiempo aparece una revolución social igualmente poderosa. Porque entonces se hizo posible – más que posible necesario – que el hombre se estableciera. Y esta criatura que había andado errante y emigrado durante un millón de años, habría de tomar una decisión crucial: dejar de ser nómada y convertirse en aldeano.

Contamos con un registro antropológico de la lucha de conciencia de un pueblo que tomó tal determinación: el registro lo es la Biblia, el Antiguo Testamento. Creo que la civilización descansa en esa decisión. En cuanto a los pueblos que nunca se decidieron, quedan pocos sobrevivientes. Existen algunas tribus nómadas que todavía van, a través de vastas jornadas trashumantes, de un campo de pastoreo a otro: los baktiaritas en Persia, por ejemplo. Y realmente hay que viajar y vivir con ellos para comprender que la civilización no puede florecer nunca en la vida nómada.

Todo en la vida nómada es inmemorial. Los baktiaritas han viajado siempre solos, sin ser observados en absoluto. Como otros nómadas, se consideran a sí mismos una familia, los hijos de un solo padre fundador. (Del mismo modo que los judíos solían autodenominarse hijos de Israel o de Jacob.) Los baktiaritas adoptaron su nombre de un pastor legendario de la era mongólica: Baktiar. La leyenda de su propio origen y de su fundador, empieza así:

Y el padre de nuestro pueblo, el hombre de las colinas, Baktiar, surgió de la solidez de las montañas del Sur en tiempos remotos. Su simiente era tan numerosa como las rocas de las montañas; y su pueblo prosperó.

El eco bíblico suena y resuena conforme la leyenda avanza. El patriarca Jacob tenía dos esposas, a cada una de las cuales sirvió como pastor durante siete años. Comparemos la historia del patriarca de los baktiaritas:

La primera esposa de Baktiar tuvo siete hijos, padres de las siete líneas fraternas de nuestro pueblo. Su segunda esposa tuvo cuatro hijos. Y nuestros hijos habrán de tomar por esposos a las hijas, en las tiendas de sus padres y de sus hermanos, para que los rebaños y las tiendas se dispersen.

Al igual que para los hijos de Israel, los rebaños eran de vital importancia; no escapan a la mente del historiador (ni a la del consejero matrimonial) en ningún momento.

Antes del año 10.000 a. de C., los pueblos nómadas solían seguir las migraciones naturales de los hatos silvestres. Pero las ovejas y las cabras no tienen migraciones naturales. Fueron domesticadas por primera vez hace cerca de diez mil años, el perro es el único animal que las precedió. Y cuando el hombre las domesticó, se echó auestas la responsabilidad de la naturaleza; el nómada debe dirigir el hato indefenso.

El papel de la mujer en las tribus nómadas está escasamente definido. Sobre todo, la función de la mujer es producir hijos varones; demasiadas hijas acarrearán una desgracia inmediata, porque a la larga amenazan con desastres. Además de esto, sus deberes consisten en la preparación de alimentos y de ropa. Por ejemplo, la mujer baktiarita elabora el pan, a la usanza bíblica, en tortas ázimas sobre piedras calientes. Pero las mujeres y las niñas aguardan a que los hombres acaben de comer para hacer lo propio. Como la de los hombres, la vida de las mujeres se centra en el rebaño. Lo ordeñan y preparan con la leche un yogur grumoso, batiéndola en una bolsa de piel de cabra colocada en un marco rústico de madera. Poseen únicamente la tecnología simple que puede ser transportada en las jornadas cotidianas de un lugar a otro. La simplicidad no es romántica, es cuestión de supervivencia. Todo debe ser lo suficientemente ligero como para poder ser trasladado, armado cada noche y vuelto a empacar de nuevo cada mañana. Cuando las mujeres hilan la lana mediante sus artefactos sencillos y arcaicos, lo hacen para un uso inmediato, tan sólo para efectuar las reparaciones que son esenciales durante la jornada.

No es posible en la vida nómada el manufacturar cosas que no van a ser necesarias durante varias semanas. No podrían ser transportadas. Y, de hecho, los baktiaritas ignoran cómo hacerlas. Si necesitan recipientes de metal, realizan trueques con pueblos sedentarios o con artesanos gitanos especializados en metales. Un clavo, un estribo, un juguete o la campana de un niño son cosas que deben conseguirse fuera de la tribu. La vida de los baktiaritas está muy circunscrita para poseer el tiempo o la habilidad de especializarse. Las innovaciones no tienen cabida por falta de tiempo durante los desplazamientos, entre el atardecer y el amanecer, yendo y viniendo toda su vida, de desarrollar algún artefacto nuevo, algún pensamiento nuevo, ni siquiera alguna melodía nueva. Las únicas costumbres que prevalecen son las costumbres

antiguas. La sola ambición del hijo es la de llegar a ser como el padre.

Es una vida sin cambios. Cada noche es el final de un día como el de ayer y cada mañana será el inicio de una jornada como la del día anterior. Al amanecer, hay una pregunta en la mente de cada uno de ellos: ¿Podrá el ganado atravesar el próximo paso escarpado? El más escarpado de todos los pasos deberá ser atravesado en algún día de la jornada. Se trata del paso de Zadeku, a cuatro mil metros de altura sobre el Zagros, el cual deberá cruzar o sortear el rebaño de alguna manera en sus cimas más elevadas. Para que la tribu pueda seguir adelante los pastores deberán hallar nuevos pastizales cada día, porque, a esas alturas, los pastizales son consumidos en un solo día.

Año tras año, los baktiaritas atraviesan seis cordilleras montañosas en el viaje de ida (y las vuelven a cruzar de regreso). Avanzan a través de la nieve y de los deshielos de primavera. Y se limita a un solo aspecto el avance que ha experimentado su vida en diez mil años. Los nómadas baktiaritas de entonces tenían que viajar a pie y llevar a cuestas sus pertenencias. Sus descendientes ya cuentan con animales de carga – caballos, asnos, mulas – que son los únicos que han domesticado desde aquellos tiempos. No hay nada nuevo en sus vidas además de esto. Y nada es memorable. Los nómadas carecen de monumentos, ni aun para los muertos. (¿Dónde está Baktiar, dónde fue sepultado Jacob?) Los únicos montículos que construyen son para marcar el camino en sitios como el Paso de las Mujeres, intrincado pero más accesible para los animales que los pasos escarpados.

La migración primaveral de los baktiaritas es una aventura heroica; empero, los baktiaritas no son tan heroicos como estoicos. Son resignados porque su aventura no les conduce a ninguna parte. Los pastizales de verano son, en sí mismos, un lugar de paso más: a diferencia de los hijos de Israel, para ellos no existe la tierra prometida. El jefe de la familia trabajó durante siete años, como hizo Jacob, para reunir un hato de cincuenta cabras y ovejas. Calcula perder diez de ellas durante la migración, si las cosas marchan bien. De no ocurrir así, podría llegar a perder hasta veinte de las cincuenta. Estas son las probabilidades de la vida nómada, año tras año. Y después de todo ello, al final de la jornada, no habría más que una resignación inmensa y tradicional.

¿Quién sabe si, cualquier año, después de haber cruzado los pasos, podrán los ancianos enfrentarse con la prueba final: el cruce del río Bazuft? Tres meses de deshielo han hecho crecer el río. Los hombres de la tribu, las mujeres, los animales de carga y los rebaños están agotados. Llevará un día el conseguir que los rebaños crucen el río. Pero este es, aquí y ahora, el día de la prueba. Hoy es el día en que los adolescentes se convertirán en hombres, pues la supervivencia del hato y de la familia dependerá de su vigor. Atravesar el río Bazuft es como cruzar el Jordán; es el bautismo de la virilidad. Para el joven, la existencia cobra vida en ese momento; para el anciano... acaba.

¿Qué sucede con los ancianos cuando no pueden cruzar el último río? Nada. Quedan a la zaga hasta morir. El perro es el único sorprendido al ver a un hombre abandonado. El hombre acepta la costumbre nómada; ha llegado al término de su jornada y ya no hay sitio para él.

El paso más grande e importante en el ascenso del hombre es la transición de nómada a agricultor sedentario. ¿Qué la hizo posible? Seguramente, la voluntad del hombre; pero en conjunción con un acto secreto y extraño de la naturaleza. Con la expansión de nueva vegetación a raíz de la última Glaciación, apareció en el Medio Oriente un nuevo tipo de trigo híbrido. Eso ocurrió en muchos sitios: un lugar típico es el antiguo oasis de Jericó.

Jericó es anterior a la agricultura. Sus primeros pobladores se establecieron aquí durante la primavera en este de otra manera desolado suelo del cual sus habitantes recolectaban trigo, aunque no sabían todavía cómo sembrarlo. Esto lo sabemos porque fabricaron herramientas para la cosecha silvestre, y eso constituye un extraordinario acto de anticipación. Manufacturaban hoces de pedernal que aún se conservan; John Garstang las descubrió cuando realizaba excavaciones en este sitio por los años treinta. El mango de esta hoz arcaica podría

haber sido un pedazo de cuerno de gacela o de hueso.

No ha perdurado, arriba en las colinas o en sus laderas, el tipo de trigo silvestre que recolectaron los primeros habitantes de este lugar. Pero los pastizales que aún siguen aquí deben parecerse mucho al trigo hallado por ellos, el cual recogían por primera vez a mano llena y segaban con ese movimiento de sierra de la hoz que han seguido ejecutando sus descendientes en los diez mil años subsecuentes. Esta fue la civilización natuciana preagrícola. Y, evidentemente, no podía durar. Estaba a punto de convertirse en agricultura. Y éste fue el siguiente acontecimiento que tuvo lugar en la zona de Jericó.



Figura 8. Los primeros pobladores de Jericó recolectaban trigo, aunque no sabían todavía cómo sembrarlo. Fabricaban herramientas para la cosecha silvestre.

Hoz combada, 4º milenio a. de C., Israel. Las navajas de pedernal de la hoz se pegaban con betún a un mango de cuerno.

El punto crítico en la expansión de la agricultura en el Viejo Mundo fue casi con seguridad la aparición de dos tipos de trigo con espigas grandes completamente llenas de semillas. Antes del año 8000 a. de C., el trigo no era, como ahora, una planta lozana; era solamente una de las muchas hierbas silvestres que proliferaban por todo el Oriente Medio. A causa de algún accidente genético, el trigo silvestre se cruzó con la planta llamada rompesacos, dando forma a un híbrido fértil. Tal accidente debió ocurrir en muchas ocasiones a la vegetación naciente surgida a partir de la última Glaciación. En términos del mecanismo genético que regula el crecimiento, se combinaron los catorce cromosomas del trigo silvestre con los catorce del rompesacos, originando la variedad Emmer, de veintiocho cromosomas, dando como resultado que esta variedad fuese mucho más robusta. Este híbrido pudo difundirse de manera natural, porque sus semillas están unidas a la raspa en forma tal que hace posible su dispersión por el viento.

Que tal híbrido sea fértil es raro, aunque no singular entre las plantas. Pero ahora la historia de la vida de esta fértil planta que siguió a las glaciaciones resulta más sorprendente. Ocurrió un segundo accidente genético, debido tal vez a que la Emmer ya era cultivada. La Emmer se cruzó con otra variedad natural de rompesacos y produjo un - híbrido de incluso mayores dimensiones con cuarenta y dos cromosomas: el trigo del pan. Esto, de por sí, era muy improbable, pues sabemos ahora que el trigo del pan no hubiera podido ser fértil a menos que sufriera una mutación genética específica en un cromosoma.

Empero, hay algo todavía más extraño. Contamos en actualidad con una bella espiga de trigo, que nunca esparcería su simiente por el viento ya que es sumamente compacta y difícil de romper. Y si yo la rompo; por qué, la granza vuela y cada grano cae exactamente donde creció. Permítaseme recordar que es completamente diferente del trigo silvestre o la del híbrido primitivo, el Emmer. En aquellas formas primitivas la espiga es mucho más abierta y, si se rompe, un efecto muy diferente tiene lugar: se consiguen granos que vuelan con el viento. Los trigos del pan han perdido esa inhabilidad. Repentinamente, el hombre y la planta están juntos:

el hombre cuenta con el trigo del cual se alimenta, pero el trigo también piensa que el hombre fue hecho para él porque sólo así puede propagarse. Pues los trigos del pan se pueden multiplicar únicamente mediante ayuda; el hombre debe cosechar las espigas y esparcir las semillas; y la vida de cada cual, hombre y planta, depende de la otra. Esto constituye un auténtico cuento de hadas de la genética, como si el arribo de la civilización hubiese sido bendecido anticipadamente por el espíritu del abad Gregor Mendel,



Figura 9. Antes del año 8000 a. de C., el trigo era una de muchas hierbas silvestres.
Trigo silvestre, Triticum monococcum.

Una conjunción feliz de acontecimientos naturales y humanos creó la agricultura. Esto ocurrió en el Viejo Mundo hace aproximadamente diez mil años en la zona fértil del Oriente Medio. Pero seguramente ocurrió en más de una ocasión. Es casi seguro que la agricultura fue inventada de nuevo e independientemente en el Nuevo Mundo, o al menos eso creemos por la evidencia que tenemos de que el maíz necesita al hombre como el trigo. En cuanto al Oriente Medio, la agricultura se difundió irregularmente en sus declives montañosos, de los cuales la cuesta que va del Mar Muerto a Judea, la región que circunda a Jericó, es a lo sumo un lugar característico y nada más. En sentido literal, la agricultura parece haber tenido inicios diversos en esta zona, algunos de ellos anteriores a Jericó.

Sin embargo, Jericó posee varias características que la hacen históricamente única y le confieren un valor simbólico propio. A diferencia de otros pueblos que han sido olvidados, este es monumental, más antiguo que la Biblia, capa histórica sobre capa histórica, una ciudad. La antigua ciudad de agua dulce de Jericó era un oasis al borde del desierto, cuyo manantial ha fluido desde los tiempos prehistóricos hasta la ciudad moderna que es en la actualidad. Aquí brotaron conjuntamente el trigo y el agua y, desde ese punto de vista, aquí comenzó el hombre la civilización. También a este sitio, procedentes del desierto, arribaron los beduinos con sus rostros oscuros y velados y contemplaron con desconfianza un nuevo estilo de vida. Es por eso que Josué trajo aquí a las tribus de Israel en su peregrinar hacia la Tierra Prometida, pues el trigo y el agua son forjadores de civilización: son promesa de tierra abundante en leche y miel. El trigo y el agua convirtieron aquella desolada colina en la ciudad más antigua del mundo.

De pronto, Jericó se vio transformada. Llegó gente, y pronto fue la envidia de sus vecinos, obligando a sus habitantes a fortificarla – convirtiéndola en una ciudad amurallada – y a construir una torre espléndida, hace nueve mil años. Nueve metros atraviesan su base y, en correspondencia, tiene casi nueve de profundidad. A un costado de ella, las excavaciones han descubierto capa tras capa de civilización pretérita los hombres de la primera época pre-cerámica, los hombres de la siguiente época pre-cerámica, el inicio de la cerámica hace siete mil años; la primera edad del cobre, la primera del bronce y la segunda de este metal. Cada una de estas civilizaciones llegó, conquistó Jericó, la sepultó y volvió a construirla; es así que la torre no está situada bajo quince metros del suelo cuanto bajo quince metros de civilizaciones del pasado.

Jericó es un microcosmo de historia. Se encontrarían otros sitios en años venideros (ya se han descubierto algunos nuevos importantes), los cuales cambiarán la imagen que tenemos de los inicios de la civilización. Sin embargo, este lugar tiene el poder de proporcionar la visión que contempla el ascenso del hombre moderno y que es igualmente profunda en pensamiento y en emoción. Cuando yo era joven, todos creíamos que la superioridad humana era producto del dominio del hombre sobre su ambiente físico. Ahora hemos comprendido que la auténtica superioridad se deriva del entendimiento y moldeamiento del medio en que se vive. Es así como el hombre comenzó en la zona fértil de Jericó, cuando puso su mano en las plantas y en los animales y, al aprender a convivir con ellos, cambió el mundo de acuerdo con sus necesidades. Cuando Kathleen Kenyon redescubrió la arcaica torre en los años cincuenta, encontró que estaba hueca; y, para mí, esta escalera constituye una suerte de mirilla en la base de la roca de la civilización. Y la base de la roca de la civilización es el ser vivo, no el mundo físico.

Hacia el año 6000 a. de C., Jericó era un gran poblado agrícola. Kathleen Kenyon considera que albergaba a tres mil habitantes y que su extensión dentro de las murallas era de cuatro a cinco hectáreas. Las mujeres solían moler el trigo por medio de pesados instrumentos de piedra característicos de una comunidad sedentaria. Los hombres daban forma, amasaban y moldeaban la arcilla para hacer ladrillos de construcción, algunos de los primeros que se conocen. Las huellas de los pulgares de los ladrilleros aún están allí. El hombre, como el trigo del pan, se ha establecido en este lugar. Una comunidad sedentaria tiene también una relación diferente con los muertos. Los habitantes de Jericó preservaban algunos cráneos y los cubrían con vistosas decoraciones. Nadie sabe el porqué, a no ser que fuese un acto reverencial.

Nadie cuya formación haya estado imbuida del Antiguo Testamento, como lo fui yo, puede abandonar Jericó sin formular dos preguntas: ¿Destruiría finalmente Josué esta ciudad?, ¿se derrumbaron realmente sus muros?. Estas son las incógnitas que atraen a tanta gente a este sitio y que lo convierten en una leyenda viviente. La primera pregunta tiene una respuesta fácil: Sí. Las tribus de Israel luchaban por adentrarse en la zona fértil que va desde la costa mediterránea, atraviesa las montañas de Anatolia y desciende hasta las riberas del Tigris y del Eufrates. Y aquí en Jericó se hallaba la llave que cerraba el acceso a las montañas de Judea y a las fértiles tierras mediterráneas. Tenían, pues, que conquistar Jericó y lo hicieron hacia el año 1400 a. de C., es decir, hace aproximadamente tres mil trescientos o tres mil cuatrocientos años. La historia bíblica no fue escrita probablemente sino hasta, tal vez, el año 700 a. de C.; o sea, que la primera evidencia escrita data de cerca de dos mil seiscientos años.

Pero, ¿se derrumbaron los muros de Jericó? No lo sabemos. No existe en este sitio evidencia arqueológica que sugiera que un conjunto de muros, un buen día, se viniera abajo. Pero muchos conjuntos de muros, en épocas distintas, se vinieron abajo. Existió aquí una Edad de Bronce en la cual hubo que reconstruir – cuando menos dieciséis veces – un conjunto de muros. Porque esta es una zona sísmica. Todavía en la actualidad se registran temblores todos los días; y en cada siglo sobrevienen cuatro terremotos intensos. Solamente en los últimos años nos hemos podido explicar la causa de los terremotos a lo largo de este valle. El Mar Rojo y el Mar Muerto se ubican a continuación del Valle del Gran Risco del África Oriental. Aquí, dos de las plataformas que sostienen los continentes al flotar sobre la capa terrestre más densa,

corren paralelamente. Al estar tan unidas, se empujan mutuamente a través del risco y la superficie de la tierra refleja el eco de estos choques provenientes de las capas internas. Como resultado de esto, se han registrado siempre movimientos telúricos a lo largo del eje del Mar Muerto. Y yo considero que esta es la razón por la cual la Biblia consigna tantos milagros naturales: diversas inundaciones antiguas, el descenso de las aguas del Mar Rojo, el desecamiento del Jordán y el desplome de las murallas de Jericó.

La Biblia es una historia peculiar, parcialmente folklórica y parcialmente veraz. La historia, naturalmente, la escriben los vencedores, y los israelitas, cuando irrumpieron a través de este lugar, se convirtieron en portadores de la historia. La Biblia es su historia: la historia de un pueblo que tuvo que dejar de ser nómada y pastoral para convertirse en una tribu agrícola.

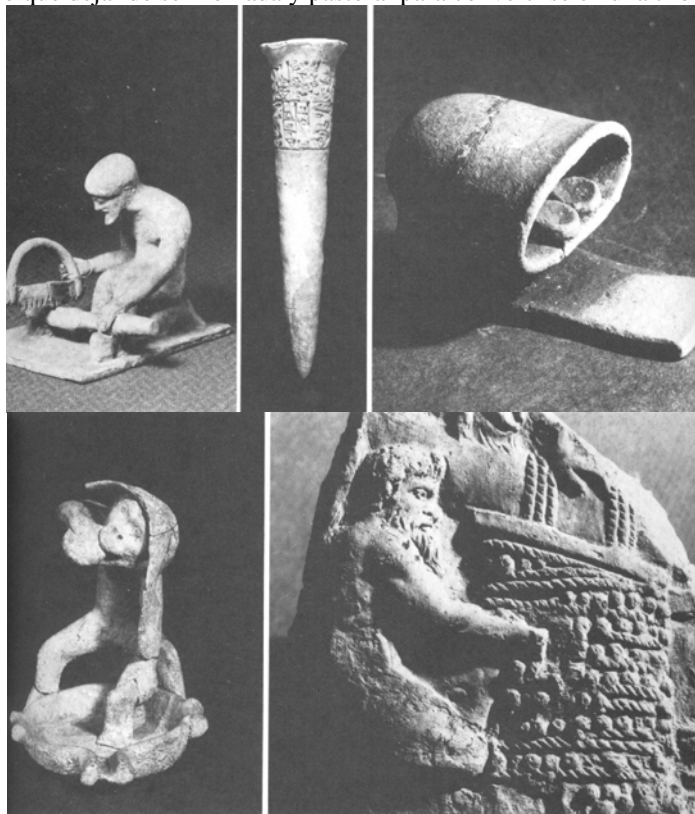


Figura 10. Una multiplicidad de artificios pequeños y sutiles tan importantes en el ascenso del hombre como cualquier aparato de física nuclear.

Carpintero trabajando una figura de madera con una sierra. Grecia, siglo VI a. de C. Clavo de arcilla decorado, sumeria, 2400 a. de C. Horno de panadero con panes. Modelo de arcilla.

Islas griegas, siglo VII a. de C. Juguete griego en forma de mono que machaca aceitunas en un mortero. Anciano con una prensa vinícola. Modelo de terracota, período romano.

La agricultura y la ganadería pueden parecer simples búsquedas, pero la hoz natuciana nos demuestra que ninguna de ellas permanece estática. Cada etapa en la domesticación de plantas y animales requiere de invenciones que comienzan por ser artefactos técnicos de los cuales se derivan principios científicos. Los dispositivos básicos producto de una mente con dedos hábiles pasan inadvertidos en cualquier aldea del mundo. Su multiplicidad de artificios pequeños y sutiles es tan ingeniosa, y en un profundo sentido tan importante en el ascenso del hombre, como cualquier aparato de física nuclear: la aguja, la alesna, el recipiente, el brasero, la espada, el clavo y el tornillo, el fuelle, la cuerda, el nudo, el telar, el arnés, el gancho, el botón, el zapato, y uno podría mencionar un centenar sin pararse a respirar. La riqueza estriba en la interrelación de los inventos; una cultura es una multiplicación de ideas, en la cual cada artefacto nuevo acelera y engrandece el poder de los restantes.

La agricultura sedentaria crea una tecnología de la que se nutre todo lo físico y todo lo científico. Esto lo podemos apreciar observando la diferencia entre la hoz primitiva y la más reciente. A primera vista, son muy parecidas: la hoz del recolector de hace diez mil años, y la de nueve mil años de antigüedad, cuando ya se cultivaba el trigo. Pero mirémosla más de cerca. El trigo cultivado debe segarse con un borde serrado: porque si se golpea el trigo, los granos caerán al suelo; pero si es segado con suavidad, los granos no se desprenderán de la espiga. Y a partir de entonces la hoz ha conservado esta característica; y hasta en mi infancia, durante la Primera Guerra Mundial, la combada hoz de serrado borde era todavía el instrumento empleado para segar el trigo. Una tecnología como ésta, un conocimiento físico como éste, llega hasta nosotros como elemento integral de la vida agrícola, de una manera tan espontánea, que podría pensarse que las ideas descubren al hombre y no a la inversa.

La invención más sobresaliente en toda agricultura es, por supuesto, el arado. Nuestra imagen de éste consiste en una cuña que divide el suelo. Y la cuña es un invento mecánico primitivo importante. Pero el arado es algo mucho más trascendente: es una palanca que levanta el suelo y se encuentra entre las primeras aplicaciones del principio de la palanca. Cuando, mucho tiempo después, Arquímedes explicaba a los griegos la teoría de la palanca, afirmaba que con un punto de apoyo para la palanca, él podría mover la Tierra. Pero miles de años antes, los agricultores del Oriente Medio solían afirmar: «Dadme una palanca y *alimentaré* la Tierra».

Ya he hecho notar que la agricultura fue inventada cuando menos en otra ocasión, mucho tiempo después, en América. Pero el arado y la rueda no lo fueron, porque ambos dependen del animal de tiro. El siguiente paso a partir de la agricultura rudimentaria en el Oriente Medio fue la domesticación de los animales de tiro. La ausencia de este adelanto biológico mantuvo al Nuevo Mundo confinado al nivel de la estaca para cavar y el morral; y ni siquiera acertó con la rueda del alfarero.

La primera rueda encontrada se remonta a algo más de 3000 años a. de C., en lo que actualmente corresponde a la Rusia meridional. Estos primeros hallazgos corresponden a sólidas ruedas de madera unidas a una especie de balsa o trineo de carga, de mayor antigüedad, convertido, por tanto, en carro. Desde ese momento, la rueda y el eje se constituyen en la raíz doble a partir de la cual crece la inventiva. Es convertida, por ejemplo, en instrumento para moler el trigo, utilizando para ello las fuerzas de la naturaleza: la fuerza animal primero, las fuerzas del viento y del agua después. La rueda se convierte en modelo de todos los movimientos de rotación, en una norma de explicación y en el símbolo celestial de un poder superior al humano tanto en la ciencia como en el arte. El sol es una carroza y el cielo mismo es una rueda desde el tiempo en que los babilonios y los griegos plasmaron los movimientos de los astros en mapas celestes. El movimiento natural en la ciencia moderna (o sea el movimiento libre) va en línea recta; pero para la ciencia griega, la forma de movimiento que parecía natural (es decir, inherente a la naturaleza) y de hecho perfecta, era el movimiento circular.

Hacia el año 1400 a. de C., más o menos en la época en que Josué tomó Jericó, los ingenieros mecánicos de Sumeria y Asia convertían la rueda en una polea para extraer agua. Al mismo tiempo diseñaban sistemas de irrigación en gran escala. Los pozos de mantenimiento siguen utilizándose como puntos de referencia a lo largo del territorio persa. Cuentan éstos con cien metros de profundidad, hasta conectarse con los canales subterráneos que constituyen el sistema, en un nivel en el cual el agua natural está a resguardo de la evaporación. Tres mil años después de la construcción de estos sistemas, las aldeanas de Khuzistán siguen extrayendo su ración diaria de agua de los pozos para continuar con las faenas tradicionales de la antigua comunidad.

Los canales subterráneos son una construcción tardía de una civilización citadina e implican la existencia a la sazón de leyes reguladores de los derechos del agua y de la tenencia de la tierra y otras relaciones sociales. En una comunidad agrícola (en una hacienda agrícola en gran escala de Sumeria, por ejemplo) el régimen de justicia tiene un carácter distinto del de la comunidad nómada que sólo juzga el robo de una cabra o de una oveja. La estructura social

comprende ahora la reglamentación de asuntos que afectan a la comunidad como un todo: el acceso a la tierra, la vigilancia y el control de los derechos de riego y el derecho a usar, una y otra vez, las preciadas instalaciones de las que depende la cosecha de las estaciones.



Figura 11. El torno de arco constituye un patrón clásico para convertir el movimiento lineal en rotatorio.

Mediados del siglo XIX; carpinteros trabajando con un torno de arco, India central.

El artesano de aldea se convierte ahora en inventor por derecho propio. Combina los principios mecánicos básicos en herramientas más complejas que se convierten, efectivamente, en máquinas primitivas. Estas son tradicionales en el Oriente Medio: el torno de arco, por ejemplo, que constituye un patrón clásico para convertir el movimiento lineal en rotatorio. Su diseño depende, ingeniosamente, de una cuerda enrollada alrededor de un tambor y cuyas puntas están atadas a los extremos de una especie de arco de violín. La pieza de madera que va a ser trabajada se fija en el tambor; se la hace girar moviendo el arco hacia atrás y hacia adelante, de modo que la cuerda hace rotar el tambor que sostiene la pieza de madera, la cual se va modelando con un cincel. Este aparato data de varios miles de años, pero yo lo vi usado por gitanos que elaboraban patas de sillas en un bosque de Inglaterra en 1945.

Una máquina es un artefacto con que se aprovecha el poder de la naturaleza. Esto es aplicable tanto en el huso rústico que emplean las baktiaritas como en el histórico primer reactor nuclear y toda su secuela. Sin embargo, al evolucionar, la máquina ha requerido de fuentes de energía mayores, por lo que día a día se aleja más de su empleo natural. ¿Cómo es que la máquina, en su forma moderna, nos parece ahora una amenaza?

Esta inquietante pregunta está ligada al poder potencial de la máquina. Podemos plantear mejor la cuestión en forma de alternativas: ¿Está el poder de la máquina a escala del trabajo para el cual fue proyectada o es éste tan desproporcionado que puede dominar al usuario y distorsionar el uso? La pregunta nos conduce evidentemente al pasado remoto; se inicia cuando por primera vez el hombre colocó un arnés sobre un poder superior al suyo: el poder de los animales. Toda máquina es una suerte de animal de tiro, aun el reactor nuclear. Incrementa el potencial que el hombre obtuvo de la naturaleza desde la aparición de la agricultura. Y, en consecuencia, toda máquina replantea el dilema original: ¿proporciona la máquina la energía en respuesta a la demanda de su uso específico o es una fuente de energía salvaje más allá de los límites del uso constructivo? Este conflicto en la escala de la potencia se encuentra a todo lo largo del camino formativo de la historia humana.

La agricultura es una parte de la revolución biológica; la domesticación y el aparejo de los animales es la otra. La secuencia de la domesticación es ordenada. Primero aparece el perro, posiblemente antes del año 10.000 a. de C. Después, los animales comestibles, comenzando con las cabras y las ovejas. Y posteriormente vinieron los animales de tiro tales como el onagro, una especie de asno silvestre. Los animales producen un excedente mayor que su

propio consumo. Pero esto es sólo verdad en la medida en que los animales permanezcan modestamente en su propio nivel, como servidores de la agricultura.

Parecía poco probable que el animal doméstico se llegase a convertir por sí mismo, a partir de entonces, en una amenaza para el excedente de grano del cual vive y sobrevive una comunidad establecida. Era de lo más inesperado, puesto que, después de todo, el buey y el asno, como animales de tiro, habían ayudado a crear este excedente. (El Antiguo Testamento insiste cuidadosamente en que se les dé buen trato; por ejemplo, prohíbe al agricultor que coloque en la misma yunta a un buey y un asno para arar juntos, ya que éstos trabajan de manera distinta.) Mas hace aproximadamente cinco mil años, aparece un nuevo animal de tiro: el caballo. Y, sin punto de comparación, es más rápido, más fuerte y superior a cualquier animal precedente. Y a partir de ese momento se convierte en amenaza al excedente alimenticio de la aldea.

El caballo empezó como el buey, arrastrando carretas; pero con más categoría, tirando de las carrozas en los desfiles reales. Y entonces, alrededor del año 2000 a. de C., el hombre descubrió cómo matarlo. La idea debió ser tan inquietante en su época como en su día la de la invención de la máquina voladora. Entre otras cosas se requería de un caballo más grande y más fuerte (el caballo era originalmente un animal mucho más pequeño y, como la llama de Sudamérica, no podía soportar el peso de un hombre por mucho tiempo). Las tribus nómadas que criaban caballos fueron, consecuentemente, las primeras en montarlos formalmente. Eran hombres procedentes del Asia Central, Persia, Afganistán y más allá; en Occidente eran llamados simplemente escitas, nombre colectivo para denominar a una criatura nueva y aterradora, un fenómeno de la naturaleza.

Porque el jinete es visiblemente más que un hombre: su cabeza sobresale sobre las de los otros y se mueve con tal poder que atemoriza al mundo viviente. Cuando las plantas y los animales de la aldea fueron domesticados para el uso humano, el montar a caballo se convertía en algo más que un gesto humano: el acto simbólico del dominio sobre todo lo creado. Sabemos de esto a través del asombro y el pánico que volvería a sembrar el caballo en tiempos históricos, al destruir la caballería española a las tropas peruanas (que nunca habían visto un caballo) en 1532. Así, pues, mucho tiempo antes, los escitas eran el terror que arrasaba los países que desconocían la técnica de montar. Cuando los griegos vieron a los jinetes escitas creyeron que caballo y jinete eran un solo ser; así es como éstos inventaron la leyenda del centauro. Por cierto que el otro híbrido parcialmente humano producto de la imaginación griega, el sátiro, no era originalmente mitad cabra sino mitad caballo; tan profunda era la inquietud que evocaba esta rápida criatura procedente de Oriente.

No nos sería posible recapturar hoy día el terror que causó la aparición del caballo montado en el Oriente Medio in la Europa Oriental. Y esto es porque existe una diferencia de escala que sólo puedo comparar con la llegada de los tanques a Polonia en 1939, arrasando todo lo que tenían delante. Considero que la importancia del caballo en la historia de Europa ha sido siempre subestimada. En cierto sentido, la guerra se creó mediante el caballo, como una actividad nómada. Eso fue lo que trajeron los hunos, eso fue lo que trajeron los frigios y, finalmente; los mogoles, y fue llevada a un clímax bajo Gengis Khan, mucho tiempo después de manera particular, las hordas móviles transformaron la organización de la batalla. Concibieron una estrategia bélica diferente: una estrategia parecida a un juego bélico; ¡cómo gustan de jugar los hacedores de guerras!

La estrategia de la horda móvil depende de la maniobra, de la comunicación y de movimientos tácticos practicados que puedan amalgamarse en secuencias sorprendentes. Evocan estos juegos de guerra, que todavía se practican y que provienen del Asia, el ajedrez y el polo. La estrategia bélica ha sido siempre vista como un juego por aquellos que ganan las guerras. Y todavía hasta nuestros días se practica en Afganistán un juego llamado Buz Kashi, que se deriva de una especie de competición ecuestre llevada a cabo por los mogoles.

Los hombres que juegan el Buz Kashi son profesionales, es decir, perciben honorarios; y tanto ellos como los caballos son entrenados y retenidos simplemente por el lauro de la victoria. En cierta gran ocasión, trescientos hombres de distintas tribus se reunieron para competir, lo cual

no había ocurrido en los últimos veinte o treinta años, hasta que nosotros lo organizamos. En el juego di Buz Kashi, los contendientes no tornean equipos. El objeto del juego no es probar que un grupo es mejor que otro; sino encontrar un campeón. Existen campeones famosos del pasado que todavía se recuerdan. El presidente que supervisó este juego es un campeón retirado. El presidente transmite sus órdenes a través de un heraldo, quien puede ser también un jugador retirado, aunque menos distinguido. Donde esperaríamos ver una pelota, nos hallamos con un novillo decapitado. (Y este macabro juguete nos indica algo acerca del juego, tal como si los jinetes estuviesen divirtiéndose con la subsistencia de los granjeros.) El cadáver pesa aproximadamente treinta kilos, y el objeto del juego es asirlo, defendiéndolo de todos los adversarios, y cargarlo durante dos etapas. La primera de éstas consiste en cargar con el cadáver hasta la meta señalada con una bandera y darle la vuelta a la misma. Después, la etapa crucial es el regreso; cuando el jinete gira alrededor de la bandera, constantemente desafiado, y se encamina a la meta de salida, la cual es un círculo marcado en el centro de la multitud.

El juego va a ser ganado por un solo gol, por lo que no hay cuartel. No se trata de un evento deportivo; en las reglas no se encuentra ninguna indicación acerca de la limpieza en el juego. Las tácticas son puramente mogólicas, una disciplina violenta. Lo más asombroso del juego es precisamente lo que confundía a los ejércitos que se enfrentaban a los mogoles lo que semeja un zipizape feral es en realidad una maniobra que se disuelve repentinamente cuando el triunfador se aproxima a la meta.

Uno tiene la sensación de que la multitud se halla mucho más excitada y conmovida que los propios contendientes. Estos, en contraste, parecen interesados aunque fríos; cabalgan con una intensidad brutal y brillante; pero no les subyuga el juego sino la victoria. Sólo después de la contienda, el ganador se deja llevar por la emoción. Debió de haber pedido al presidente que reconociese su triunfo, y por olvidar esta norma del protocolo, pudo haber perdido el juego. Qué bueno es saber que el triunfo ha sido reconocido.

El Buz Kashi es un juego bélico. Lo que lo hace electrizante es la ética del jinete: cabalgar es una acción guerrera. Esta expresa la cultura monomaniaca de la conquista; el depredador posa como un héroe porque cabalga el torbellino. Pero el torbellino está vacío. Caballo o tanque, Gengis Khan o Hitler o Stalin, el torbellino sólo puede subsistir del trabajo de otros hombres. El nómada, en su último papel histórico como hacedor de guerras es un anacronismo y, peor aún, en un mundo que ha descubierto en los últimos doce mil años que la civilización la realizan los pueblos sedentarios.

A través de todo este ensayo se hace patente el conflicto entre los estilos de vida nómada y sedentario. Así, es adecuado a guisa de epitafio ir a la escarpada, ventiscosa e inhóspita meseta del Sultaniyeh en Persia, donde terminó el último intento de la dinastía mogólica de Gengis Khan por hacer de la vida nómada la forma suprema de ésta. El caso es que la invención de la agricultura, doce mil años atrás, no estableció ni confirmó, por sí misma, la forma sedentaria de vida. Por el contrario, la domesticación de animales que vino con la agricultura daría nuevo vigor a las economías nómadas: la domesticación de ovejas y cabras, por ejemplo, pero muy especialmente la posterior doma del caballo. Fue éste el que diera a las hordas mogólicas de Gengis Khan el poder y la organización para la conquista de China y de los estados musulmanes, y así alcanzar las puertas de Europa central.

Gengis Khan fue un nómada y el inventor de una poderosa maquinaria bélica; y esta conjunción destaca algo importante sobre los orígenes de la guerra en la historia humana. Es por supuesto tentador el cerrar los ojos a la historia especular en cambio acerca de los orígenes de la guerra, con base en algún posible instinto animal: como si, al igual que el tigre, tuviésemos todavía que matar para sobrevivir, o, como el petirrojo, para defender el territorio nidal. Mas la guerra, la guerra organizada, no es un instinto humano. Es una forma de robo altamente planificada y coordinada. Y este sistema de robo se inició hace diez mil años, cuando los agricultores de trigo acumularon excedentes y los nómadas surgieron del desierto para robarles algo de lo que ellos mismos no podían proveerse. Hemos visto pruebas de lo anterior en la ciudad amurallada de Jericó y en su torre prehistórica. Este es el comienzo de la guerra.

Gengis Khan y su dinastía mogólica habían de traer esa forma de vida bandolera a nuestro propio milenio. De los años 1200 a 1300 a. de C., realizaron una intentona casi final por establecer la supremacía del ladrón improductivo, el que, de manera cobarde, arrebató al campesino (quien no tiene adónde huir) las reservas que acumula la agricultura.

No obstante, ese intento fracasó. Y fracasó porque, a fin de cuentas, no les quedaba otro recurso a los mogoles que el adoptar el estilo de vida del pueblo conquistado. Cuando hubieron conquistado a los musulmanes, se convirtieron en musulmanes. Se tornaron sedentarios, porque el robo y la guerra no son un estado permanente que pueda ser sostenido. Por supuesto, los restos de Gengis Khan eran todavía transportados y tratados como una reliquia por los ejércitos en el campo de batalla. Pero su nieto Kublai Khan era ya un monarca constructivo y sedentario en China; recordad el poema de Coleridge:

*Kubla Khan en Xanadu,
cúpula soberbia construyó.*

El quinto heredero en la sucesión de Gengis Khan fue el sultán Oljeitu, quien arribó a esta meseta prohibida de Persia para edificar una nueva gran ciudad capital: Sultaniyeh. Lo único que persiste de ésta es su propio mausoleo, inspiración posterior para buena parte de la arquitectura musulmana. Oljeitu fue un monarca liberal que atrajo a este lugar a gente de todas partes del mundo. El mismo fue cristiano, después budista y, finalmente, musulmán, y en esta corte intentó firmemente establecer una corte universal. Esta fue la única aportación del nómada a la civilización; reunió las culturas de los cuatro rincones del mundo, las fundió, y las envió de nuevo a fertilizar la tierra.

Resulta irónico que al final de la tentativa por el poder aquí, por parte de los mogoles nómadas, al morir Oljeitu, se le conociera como Oljeitu el Constructor. El hecho es que la agricultura y el estilo sedentario de vida eran ya pasos firmes en el ascenso del hombre y habían establecido un nivel nuevo para dar forma a la armonía humana que había de fructificar en el futuro mediano: la organización de la ciudad.

3 LA VETA EN LA PIEDRA

*En su mano
El tomó el Compás de oro, preparado
En la tienda Eterna de Dios, para circunscribir
Este Universo y todas las cosas creadas:
Una punta centró y giró la otra
Rodeando toda la vasta profundidad oscura,
Y dijo «tan lejos lo extiende, tan lejos tus confines;
Sea esta tu Circunferencia justa, Oh Mundo»*

Milton, El paraíso perdido, libro VII

John Milton describió, y William Blake pintó, la formación de la Tierra en un solo movimiento circular del compás de Dios. Pero esta es una imagen demasiado estática de los procesos de la naturaleza. La Tierra ha existido durante más de cuatro mil millones de años. A lo largo de todo este tiempo, ha sido formada y cambiada por un doble efecto. Las fuerzas ocultas en el seno de la Tierra han pandeado sus estratos y elevado y desplazado masas de suelo. Y en la superficie, la erosión causada por la nieve, la lluvia y la tormenta, por el arroyo y el océano, por el sol y el viento, han labrado una arquitectura natural.

Asimismo, el hombre se ha convertido en arquitecto de su medio circundante, pero carece de dominio sobre fuerzas tan poderosas como las de la naturaleza. Su método ha consistido en seleccionar y probar: una aproximación intelectual en la que la acción depende de la comprensión. He venido a seguir huellas de su historia a través de las culturas del Nuevo Mundo, más jóvenes que las de Europa y Asia. Centré mi primer ensayo en el África ecuatorial, porque fue ahí donde el hombre comenzó, y mi segundo ensayo en el Cercano Oriente, porque allí se inició la civilización. Es ahora el momento de recordar que el hombre también alcanzó otros continentes en su largo caminar sobre la Tierra.

El cañón de Chelly en Arizona es un valle hermético y secreto que ha sido habitado casi ininterrumpidamente por una tribu indígena tras otra durante dos milenios, desde el nacimiento de Cristo; más que cualquier otro sitio de América del Norte. Sir Thomas Browne escribió esta vívida sentencia: «Los cazadores se han levantado en *América*, y han pasado ya de su primer sueño en *Persia*». En la época del nacimiento de Cristo, los cazadores se establecían como agricultores en el cañón de Chelly y recorrían el mismo camino en el ascenso del hombre antes andado por los pueblos de la zona fértil del Oriente Medio.

¿Por qué se inicia la civilización en el Nuevo Mundo mucho después que en el Viejo? Evidentemente porque el hombre arriba mucho tiempo después al Nuevo Mundo. Llegó antes de que se inventasen los barcos, lo cual implica que se desplazó a pie enjuto sobre el Estrecho de Bering cuando constituía un amplio puente de tierra durante la última Glaciación. Esta evidencia glaciológica apunta hacia dos posibles épocas en las cuales el hombre se trasladaría desde los promontorios del extremo oriental del Viejo Mundo, más allá de Siberia, hasta los desolados parajes de Alaska occidental en el Nuevo Mundo. El primer período sería entre los 28.000 y 23.000 a. de C., y el segundo entre 14.000 y 10.000 a. de C. Después, el deshielo de los glaciares elevaría el nivel del mar varios cientos de metros, dejando aislados, por tanto, a los habitantes del Nuevo Mundo.

Esto significa que el hombre llegó a América procedente de Asia no hace menos de diez mil años ni más de treinta mil. Y no llegó necesariamente en una sola oportunidad. Existe

evidencia en hallazgos arqueológicos (como construcciones y herramientas primitivas) del arribo a América de dos corrientes culturales separadas. Y, lo más significativo para mí, es que existe una prueba biológica sutil pero convincente, que sólo puedo interpretar como indicadora de que el hombre llegó en dos migraciones pequeñas y sucesivas.

Las tribus indígenas de Norte y Sudamérica no contienen todos los grupos sanguíneos que se encuentran en poblaciones en otros lugares. Esto descubre una posibilidad de mirar a sus antepasados a través de esta inesperada rareza biológica. Pues los grupos sanguíneos se heredan de manera que, en toda una población, proporcionan un registro genético del pasado. La ausencia total del grupo sanguíneo A en una población implica, con virtual certidumbre, que sus ancestros tampoco lo poseían; y lo mismo ocurre con el grupo sanguíneo B. Y este es el estado real de las cosas de América. Las tribus de Centro y Sudamérica (en el Amazonas, por ejemplo, en los Andes y en Tierra del Fuego) pertenecen enteramente al grupo sanguíneo O; también algunas tribus de América del Norte. Otras (entre ellas la de los sioux, los chippewa y los indígenas de Pueblo) contienen el grupo sanguíneo O mezclado en un diez o quince por ciento con el grupo A.

En suma, la evidencia muestra que no hay grupo sanguíneo B en ningún punto de América, como lo hay en la mayor parte del mundo. En Centro y Sudamérica, toda la población indígena original pertenece al grupo sanguíneo O. En América del Norte a los grupos O y A. No encuentro manera razonable de interpretar esto sino dando por sentado que una primera migración pequeña de un grupo emparentado entre sí (todos de grupo sanguíneo O) llegó a América, se multiplicó y diseminó en dirección sur. Vendría después una segunda migración, igualmente de pequeños grupos, esta vez conteniendo tanto el grupo A exclusivo como la mezcla de los grupos A y O, quienes los siguieron solamente hasta América del Norte. Por tanto, los indígenas de esta parte de América corresponden a esta última migración y son, comparativamente hablando, inmigrantes tardíos.

La agricultura en el cañón de Chelly refleja esta demora. Aunque el maíz ha sido cultivado por mucho tiempo en Centro y Sudamérica, aquí sólo hace su aparición hacia la época de Cristo. La gente es muy sencilla, no tienen casas, viven en cuevas. Cerca del año 500 d. de C. se introduce la cerámica. Excavan habitaciones dentro de las cuevas y las cubren con un tejado moldeado de arcilla o adobe. Y esta etapa permanece inmutable en el cañón hasta cerca del año 1000 d. de C., cuando la gran civilización Pueblo inicia el uso de la mampostería.

Estoy efectuando una diferenciación fundamental entre la arquitectura como moldeado y la arquitectura como montaje de piezas. Esto parece una distinción muy simplista: la choza de barro, la mampostería pétreo. Mas de hecho representa una diferencia intelectual básica y no sólo técnica. Y creo que es uno de los pasos más importantes dados por el hombre, dondequiera y cuando quiera lo haya dado la diferencia entre la acción moldeadora de la mano y la acción manual de dividir o analizar.

Parece la cosa más natural del mundo el tomar alguna arcilla y darle forma de pelota, de estatuilla, de vasija o de habitación. Inicialmente pensamos que, por esto, la configuración de la naturaleza nos ha sido dada. Pero es obvio que esto no es así. Esta es la forma dada por el hombre. La vasija refleja la mano humana ahuecada en forma de copa; la habitación refleja la acción moldeadora del hombre. Y nada se ha descubierto de la propia naturaleza cuando el hombre le impone estas formas artísticas cálidas, redondas, femeninas. Lo único que reflejamos es la forma de nuestra propia mano.

Pero existe otra acción de la mano humana que es diferente y opuesta. Esta es la división de madera o piedra, por cuya acción la mano (armada de una herramienta) prueba y explora bajo la superficie, con lo que se convierte en un dispositivo de descubrimiento. Representa un gran paso intelectual de avance cuando el hombre divide un trozo de madera o una piedra y deja al descubierto la huella impuesta por la naturaleza antes de él partirla. Los indígenas de Pueblo encontraron este paso en los riscos de piedra arenisca roja que se elevan a varios cientos de

La veta en la piedra

metros sobre los asentamientos de Arizona. Los estratos tabulares estaban allí para ser cortados; y los bloques fueron acomodados en la misma forma en que habían estado en los riscos del Cañón de Chelly.

Desde tiempos remotos; el hombre construyó herramientas labrando la piedra. En ocasiones la piedra tenía una veta natural; en otras, quina la trabajaba creaba las líneas de corte, aprendiendo cómo golpearla. Es posible que la idea surgiera, en primer lugar, de partir madera, que es un material de estructura visible que se abre con relativa facilidad a lo largo de su veta, aunque es difícil de partir en sentido contrario. Y desde ese principio tan simple, el hombre franqueó la naturaleza de las cosas y descubrió las leyes que la estructura dicta y revela. Ya no se impone la mano en la forma de las cosas. En cambio, se convierte en instrumento de descubrimiento y placer al mismo tiempo, en lo cual la herramienta trasciende de su uso inmediato y nutra en lo material y revela las cualidades y las formas que yacen ocultas en él. Como un hombre que corta un cristal, encontramos en la forma interior las leyes secretas de la naturaleza.

La noción del descubrimiento de un orden subyacente en la materia constituye para el hombre un concepto fundamental para la exploración de la naturaleza. La arquitectura de las cosas revela una estructura bajo la superficie, una veta oculta que, al ser dejada al descubierto, hace posible el desmontar formaciones naturales y montarlas en nuevas disposiciones. Este es para mí el paso en el ascenso del hombre en que se inicia la ciencia teórica. Y es tan inherente a la manera en que el hombre concibe sus propias comunidades como lo es a su concepción de la naturaleza.

Los seres humanos nos agrupamos en familias, las familias en conjuntos de parientes, los conjuntos de parientes en clanes, los clanes en tribus, las tribus en naciones. Y este sentido de jerarquía, de una pirámide en que una capa descansa sobre otra, rige todas las formas con que visualizamos la naturaleza. Las partículas fundamentales conforman el núcleo, los núcleos se unen en átomos, los átomos en moléculas, las moléculas en bases, las bases dirigen el montaje de los aminoácidos, los aminoácidos dan forma a las proteínas. Volvemos a encontrar en la naturaleza algo que parece corresponder profundamente a la forma en que incorporamos nuestras propias relaciones sociales.

El cañón de Chelly es una suerte de microcosmo de culturas, y alcanzó su apogeo cuando los habitantes de Pueblo construyeron las grandes estructuras poco después del año 1000 d. de C. Estas representan no sólo una comprensión de la naturaleza del trabajo en piedra, sino de las relaciones humanas; pues los habitantes de Pueblo crearon aquí y en otros sitios una especie de ciudad en miniatura. Las viviendas en los riscos se encontraban a veces a lo largo de cinco o seis series de gradas o terraplenes y los techos de aquéllas descansaban sobre el terraplén inmediato. El frente era plano con el risco y la parte posterior se apoyaba en éste. Estos grandes complejos arquitectónicos están en ocasiones sobre terrenos planos de 10.000 a 15.000 m², y constan de cuatrocientas habitaciones o más.

Las piedras conforman un muro, los muros una casa, las casas dan forma a las calles y éstas a una ciudad. Una ciudad está formada por piedras y por gente; mas no es sólo un acervo de piedras ni simplemente un conglomerado humano. En la transición de pueblo a ciudad, surge una nueva organización comunal basada en la división del trabajo y en eslabones de jerarquía. La manera de revivir esto es caminando por las calles de una ciudad desconocida, de una cultura que ha desaparecido.

Machu Picchu se encuentra en los altos Andes, en Sudamérica, a más de 2600 metros de altura. Fue construida por los incas durante el apogeo de su imperio, hacia el 1500 d. de C. o un poco antes (casi exactamente cuando Colón llegaba a las Indias Occidentales), cuando la planificación de una ciudad constituía su mayor proeza. Cuando las tropas españolas conquistaron y saquearon el Perú en 1532, no repararon por alguna razón en Machu Picchu ni

en sus ciudades aledañas. Pasaría inadvertida los siguientes cuatrocientos años, hasta que un día de invierno en 1911, Hiram Bingham, joven arqueólogo de la Universidad de Yale, tropezó con ella. Para entonces llevaba siglos abandonada y estaba descarnada como un hueso. Pero en aquel esqueleto de una ciudad reside la estructura de toda civilización urbana en toda época, en cualquier parte del mundo.

Una ciudad debe vivir sobre una base, sus tierras de cultivo, y una rica y abundante agricultura; y la base evidente de la civilización inca fue el cultivo en terrazas. Por supuesto que hoy día no crece más que hierba en las peladas terrazas, pero hubo un tiempo en que aquí se cultivaba la patata (producto originario del Perú) y el maíz – desde hacía tiempo cultivado – que procedía en primer lugar del norte. Como esta era una ciudad ceremonial de alguna clase, no hay duda de que cuando el Inca la visitaba se cultivaban para él plantas tropicales propias del clima, como la coca, hierba intoxicante reservada para uso exclusivo de la aristocracia incaica y de la cual derivamos la cocaína.

Central a la cultura de terrazas es un sistema de riego. Es esto lo que los imperios preincaico e incaico realizaron; el riego se distribuye por las terrazas, a través de canales y acueductos, atravesando las grandes hondonadas, se introduce en el desierto hacia el Pacífico y lo hace florecer. Al igual que en la zona fértil de Jericó, donde lo más importante era el control del agua, la civilización inca del Perú estaba cifrada en el control del riego.

Un gran sistema de riego que se extienda a lo largo y a lo ancho de un imperio requiere de una férrea autoridad central. Así fue en Mesopotamia. Así en Egipto. Así en el imperio de los Incas. Y ello significa que esta ciudad y todas las de la zona descansaban sobre una base indivisible de comunicación, por medio de la cual la autoridad podía hacerse presente y ser escuchada en todas partes, dictando órdenes y recabando información desde un centro determinado. Tres inventos sostenían la red de autoridad: los caminos, los puentes (en un paraje tan feraz como este) y los mensajes. Llegaban hasta un centro aquí cuando el Inca aquí estaba, y de él partían hacia afuera. Estos son los tres eslabones mediante los cuales toda ciudad se enlaza con las demás y los cuales, para nuestra sorpresa, nos percatamos de que son diferentes en esta ciudad.

En un gran imperio, caminos, puentes, mensajes son siempre inventos avanzados, porque, de ser suprimidos, la autoridad se quebrantaría: en los tiempos modernos son el primer blanco típico en una revolución. Sabemos que el Inca los cuidaba mucho. Empero, en los caminos no había ruedas, no había arcos bajo los puentes, los mensajes no eran escritos. La cultura de los incas no había realizado tales inventos hacia el año 1500 d. de C. Esto se debe a que la civilización en América se inició con varios miles de años de retraso y fue conquistada antes de disponer de tiempo suficiente para realizar todos los inventos del Viejo Mundo.

Resulta muy extraño que una arquitectura que movió grandes piedras de construcción sobre rodillos no pudiese acertar con el uso de la rueda; olvidamos que lo radical con respecto de la rueda es el eje fijo. Parece peculiar el construir puentes de suspensión y no acertar con el arco. Aunque lo más extraño de todo es que una civilización que llevó un registro cuidadoso de información numérica, no lo pusiera por escrito. (El Inca era tan iletrado como el más pobre de sus ciudadanos, o tanto como el granuja español que lo derrocó.)

Los mensajes a modo de datos numéricos llegaban al Inca en trozos de cuerda llamados *quipus*. El *quipu* sólo registra números (con nudos arreglados como nuestro sistema decimal), y me gustaría afirmar como matemático, que los números son simbólicamente tan informativos y humanos como las palabras; mas no lo son las cifras que describían la vida de un hombre en el Perú se encontraban en una especie de tarjeta perforada al revés, una tarjeta computadora *braille* en forma de cuerda anudada. Cuando se casaba se movía la cuerda a otro lugar en el grupo familiar. Todo lo que era acumulado por los ejércitos, graneros y bodegas del Inca, era anotado en estos *quipus*. El hecho es que el Perú se había convertido ya en la pavorosa metrópoli del futuro, almacén de memoria en que un imperio registra los actos de cada ciudadano, le sostiene, le asigna sus trabajos y lo guarda todo impersonalmente en forma de cifras.

Era una estructura social notablemente circunscrita. Cada ciudadano tenía su lugar; cada uno tenía sus necesidades cubiertas; y cada uno – campesino, artesano o soldado – trabajaba para un solo hombre: el Inca supremo. Este era la cabeza civil del estado y también la encarnación religiosa de la divinidad. Los artesanos que con tanto primor grabaron en piedra la representación simbólica del enlace del sol con su dios y monarca, el Inca, trabajaban para él.

De modo que, necesariamente, se trataba de un imperio extraordinariamente frágil. En menos de un siglo, a partir de 1438, los incas habían conquistado cinco mil kilómetros a lo largo de la costa, casi todo lo comprendido entre los Andes y el Pacífico. Sin embargo, en 1532, un aventurero español prácticamente iletrado, Francisco Pizarro, irrumpía en el Perú con solamente sesenta y dos espeluznantes caballos y ciento seis soldados de infantería; y de un día para otro conquistó el gran imperio. ¿Cómo? Cortando la cúspide de la pirámide: capturando al Inca. Y a partir de ese momento, el imperio se hundió y las ciudades, las bellas ciudades quedaron al descubierto para los ladrones del oro y los buitres.

Mas, por supuesto, una ciudad es más que una autoridad central. ¿Qué es una ciudad? Una ciudad es gente. Una ciudad tiene vida. Es una comunidad cuya vida se cifra en la agricultura, tanto más rica que una aldea, que puede mantener el sostenimiento de toda clase: de artesanos y hacer de éstos especialistas de por vida.



Figura 12. Los templos griegos fueron construidos en ángulos rectos, siempre en escuadra. Templo de Poseidón en Pesto, en el sur de Italia. Las dos hileras de columnas constituyen un sistema para aligerar la estructura.

Los especialistas han desaparecido, su obra ha sido destruida. A los hombres que forjaron Machu Picchu – el herrero, el orfebre, el tejedor, el alfarero – les ha sido robado su trabajo, las telas se han podrido; el bronce se ha averiado, el oro ha sido robado. Lo único que perdura es la labor de los albañiles, la bella labor artesanal de los hombres que edificaron la ciudad; pues los hombres que edifican una ciudad no son los incas sino los artesanos. Aunque, naturalmente, si usted trabaja para el Inca (como para cualquier otro hombre), éste dirige según su gusto y usted no inventa nada. Estos hombres continuaron trabajando con la viga hasta el fin del imperio; nunca inventaron el arco. Esta es la medida del retraso entre el Nuevo Mundo y el viejo, por que este es precisamente el punto en que se encontraban los griegos dos milenios antes y en que, igualmente, se detuvieron.

Paestum (Paestum), en el sur de Italia, fue una colonia griega cuyos templos son más antiguos que el Partenón: datan de cerca del año 500 a.; de c. su río se ha sedimentado y se encuentra actualmente separado del mar por compactos bancos de sal. Pero su gloria espectacular subsiste todavía pese a que fue saqueada por piratas sarracenos en el siglo noveno, y por los cruzados en el undécimo, Paestum en ruinas es una de las maravillas de la arquitectura griega.

Pesto es contemporánea del inicio de la matemática griega; Pitágoras enseñó en el exilio en otra colonia griega, Crotona, no lejos de aquí. Al igual que la matemática del Perú dos mil años después, los templos griegos fueron construidos en ángulos rectos, siempre en escuadra. Los griegos tampoco inventaron el arco, y, en consecuencia, sus templos son avenidas apiñadas de columnas. Parecen despejados ahora que los vemos como ruinas, pero en realidad son monumentos sin espacios. Esto se debe a que tenían que unir los espacios por medio de vigas, y el tramo que puede ser sostenido por una viga plana está limitado por la fuerza de ésta.

Si analizamos la tensión en una computadora, podremos ver que la tensión sobre la viga se incrementa cuanto más separamos las columnas. Cuanto más larga es la viga, mayor es la compresión que produce su peso en la cima y mayor la tensión que produce en la base. Y la piedra bajo tensión es débil; las columnas no se desplomarán por que se encuentran comprimidas, pero las vigas fallarán cuando la tensión se torne demasiado intensa. Y fallarán en la base, a no ser que las columnas estén muy próximas entre sí.

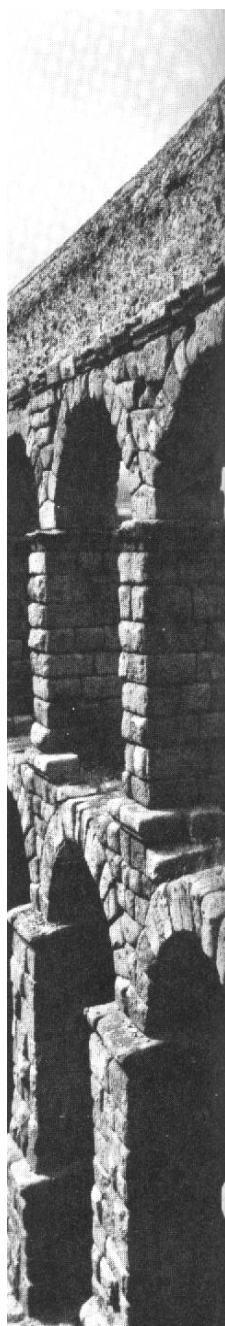
Los griegos podían ser ingeniosos aligerando la estructura con el uso, por ejemplo, de dos hileras de columnas. Pero tales artificios fueron solamente provisionales; básicamente no podían ser superadas sin un nuevo invento. La piedra, como la geometría, fascinaba a los griegos; resulta un enigma el que no concibieran el arco. Pero el hecho es que el arco es un invento ingenieril y es, correspondientemente, el descubrimiento de una cultura más práctica y plebeya que la de Grecia o la del Perú.

El acueducto de Segovia en España fue construido por los romanos hacia el año 100 d. de C., durante el reinado del emperador Trajano. Transporta las aguas del río Frío, desde la sierra alta que dista quince kilómetros. El acueducto cruza el valle a lo largo de casi un kilómetro y consta de más de cien arcos semicirculares sostenidos por una doble hilera de columnas, hechos de bloques de granito apilados sin cal o cemento. Sus proporciones colosales atemorizaban tanto a españoles y moros de épocas posteriores y más supersticiosas, que le denominaron *El puente del diablo*.

La estructura nos parece prodigiosa y espléndida, fuera de proporción en su función de transportar agua. Pero ello se debe a que nosotros obtenemos agua al accionar un grifo, olvidando levemente los problemas universales de la civilización citadina. Toda cultura avanzada que concentra a sus hombres más hábiles en las ciudades depende de la clase de invento y organización que denota el acueducto romano de Segovia.

Los romanos no inventaron el arco de piedra desde un principio, sino como una construcción moldeada a base de una especie de concreto. El arco es, estructuralmente, un método de atravesar un espacio en donde el peso no sea mayor en el centro que en los costados; el peso se distribuye uniformemente a todo lo largo. Por esta razón, el arco se puede elaborar en partes: con bloques de piedra separados a los que el peso comprime. En este sentido, el arco representa el triunfo del método intelectual que divide la naturaleza en piezas y las reúne en combinaciones nuevas y más poderosas.

Los romanos siempre dieron al arco forma semicircular; poseían una forma matemática que funcionaba bien y no se inclinaban por la experimentación. El círculo se mantuvo como fundamento del arco incluso cuando pasó a producirse en forma masiva en los países árabes. Esto es manifiesto en la arquitectura religiosa y enclaustrada que empleaban los moros; por ejemplo, en la gran mezquita de Córdoba, también en España, construida en 785 d. de C, después de la conquista árabe. Se trata de una estructura más espaciosa que la del templo griego de Pesto, aunque es evidente que pasó por dificultades semejantes; es decir, una vez más, está recargada de albañilería de la que únicamente podría librarse mediante un nuevo invento.



*Figura 13. El arco es el descubrimiento de una cultura práctica y plebeya.
"El puente del diablo", acueducto de Segovia.*

Los descubrimientos teóricos que acarreen consecuencias radicales se hacen patentes, en general, de manera sorprendente y original a la vez. Mas los descubrimientos prácticos, pese a que resulten ser de mayor alcance, tienen con frecuencia una apariencia más modesta y menos trascendental. Con el fin de romper las limitaciones del arco romano, hizo su aparición una innovación estructural proveniente posiblemente de fuera de Europa, y que arribó al principio casi a hurtadillas. El invento consiste en una nueva forma de arco basada no en el círculo, sino en el óvalo. Esto no parece ser un gran cambio; no obstante, su efecto en la articulación de los edificios es espectacular. Naturalmente, un arco en punta es más alto y, por tanto, proporciona más luz y espacio. Pero, mucho más importante, la presión que ejerce el arco gótico hace posible el sostenimiento del espacio de una manera nueva, como en Reims. se quita peso de los

La veta en la piedra

muros, lo cual hace posible instalar vitrales, y el efecto total consiste en que el edificio cuelga, como una jaula, de un techo arqueado. El interior del edificio es despejado, por que el esqueleto está en el exterior.

John Ruskin describe admirablemente el efecto del arco gótico.

Los edificios egipcios y griegos se mantienen, fundamentalmente, por su propio peso y masa, reposando pasivamente una piedra sobre otra; pero en las cúpulas y tracerías góticas se aprecia una solidez análoga a la de los huesos de un miembro o las fibras de un árbol; una tensión elástica y una comunicación de fuerza de una a otra parte, así como una expresión estudiosa de esto a través de cada línea visible del edificio.

De todos los monumentos a la humana impudencia, no hay ninguno que iguale a estas torres de tracería y vidrio, surgidas a la luz en el norte de Europa antes del año 1200. La construcción de estos enormes, desafiantes monstruos constituye un logro imponente de la previsión humana o mejor aún debería decir – ya que su edificación fue anterior a cualquier conocimiento matemático relacionado con la computación de fuerzas – de la penetración humana. Desde luego que esto no ocurrió sin errores y algunos fracasos considerables. Pero lo que debe asombrar más a los matemáticos con respecto a las catedrales góticas, es lo sólida que era tal penetración, lo sutil y racionalmente que progresó desde la experiencia de una estructura a la siguiente.

Las catedrales fueron construidas por común acuerdo en los habitantes de las ciudades y edificadas para ellos por albañiles comunes. Están prácticamente al margen de la arquitectura práctica corriente en aquella época y, sin embargo, la improvisación en ellas se torna en constante inventiva. En el sentido mecánico, el diseño cambió el arco romano semicircular por el puntiagudo arco gótico, de tal manera que la tensión pasa por el arco hacia la parte exterior del edificio. Y así, también en el siglo doce, se dio la conversión repentina y revolucionaria de éste en el medio arco: el contrafuerte volante. La tensión corre por éste al igual que por mi brazo cuando levanto la mano y empujo contra el edificio tal como si lo estuviese sosteniendo: no hay albañilería donde no hay tensión. No se añadió ningún principio arquitectónico básico a ese realismo hasta la invención de los edificios de acero y concreto.

Uno tiene la sensación de que los hombres que concibieron estas grandes edificaciones estaban obsesionados con su reciente descubrimiento, mediante el cual controlaban la fuerza de la piedra. ¿De qué otra forma podría explicarse el que se propusieran construir bóvedas de cuarenta y cincuenta metros en una época en que no sabían calcular la tensión? Así, pues, la bóveda de cincuenta metros de altura, en Beauvais, a menos de ciento cincuenta kilómetros de Reims, se vino abajo. Tarde o temprano, los constructores habían de afrontar algún desastre: existe una limitación física al tamaño, aún en las catedrales. Y cuando la cúpula de Beauvais se desplomó en 1284, algunos años después de su terminación, la gran aventura gótica había de moderarse: nunca más se volvería a intentar una estructura tan alta como ésta. (Sin embargo, el diseño empírico puede haber sido apropiado; es probable que el suelo de Beauvais simplemente no fuera lo suficientemente sólido como para resistir la edificación) sin embargo, la cúpula de 40 metros de Reims se sostuvo. Y de 1250 en adelante, Reims se convirtió en un centro artístico de Europa.

El arco, el contrafuerte, el domo o la cúpula (el cual es una suerte de arco en rotación) no constituyen las últimas etapas en la conversión de las tendencias de la naturaleza a nuestros usos. Pero lo que está más allá deberá tener unas tendencias más suaves: tendremos que mirar ahora las limitaciones propias del material. Es como si la arquitectura cambiase su enfoque al mismo tiempo que la física, al nivel microscópico de la materia. En efecto, el problema moderno no es ya el de diseñar una estructura a partir de los materiales, sino el de diseñar los materiales para una estructura.

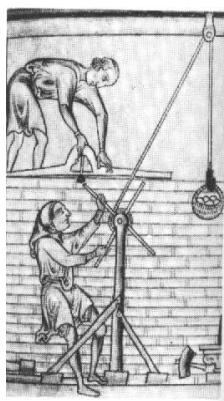


Figura 14. Los albañiles llevaban consigo un equipo de herramientas livianas. La vertical se fijaba con una plomada; y la horizontal se fijaba, no con el nivel de burbuja, sino con una plomada unida a un ángulo recto.
Albañiles trabajando, siglo XIII.

Los albañiles llevaban en mente un cúmulo, no tanto de normas cuanto de ideas, que crecía con la experiencia entre una y otra obra. Llevaban también consigo un equipo de herramientas livianas. Por medio de compases diseñaban la forma oval de las bóvedas y los círculos de los rosetones. Marcaban las intersecciones con calibradores para alinearlas y encajarlas en patrones repetibles. Las líneas verticales y horizontales se relacionaban mediante la escuadra en T, ya empleada por los matemáticos griegos, utilizando el ángulo recto (ver pág. 64). Es decir, la vertical se fijaba con una plomada; y la horizontal se fijaba no con el nivel de burbuja, sino con una plomada unida a un ángulo recto.

Los constructores ambulantes formaban una aristocracia intelectual (como la que formarían los relojeros quinientos años después) y podían recorrer toda Europa, seguros de ser bien recibidos y de obtener trabajo; se autonombraban *francmasones* ya en el siglo catorce. La habilidad que portaban en sus manos y en sus mentes parecía a los demás tanto un misterio como una tradición, un fondo secreto de conocimientos que se mantendría al margen del rígido formalismo universitario de la época. Cuando el trabajo de los masones empezó a agotarse, durante el siglo diecisiete, decidieron admitir miembros honorarios, quienes solían creer que su arte se remontaba a las pirámides. Esta no era en realidad una leyenda halagüeña, ya que las pirámides fueron construidas mediante una geometría mucho más primitiva que la empleada en las catedrales.

No obstante, existe en la visión geométrica algo que es universal. Permítaseme explicar mi preocupación por estas bellas obras arquitectónicas, tales como la catedral de Reims, ¿Qué relación guarda la arquitectura con la ciencia?. Y, particularmente, ¿qué relación guarda con la ciencia en la interpretación que de ésta se tenía a principios del siglo veinte, cuando la ciencia era sólo cifras: el coeficiente de expansión de este metal, la frecuencia de aquel oscilador?

El meollo del asunto estriba en que nuestro concepto actual de ciencia, a fines del siglo veinte, ha cambiado radicalmente. Hoy en día concebimos la ciencia como una descripción y explicación de las estructuras subyacentes de la naturaleza; y palabras como *estructura*, *diseño*, *plano*, *disposición*, *arquitectura* aparecen constantemente cada vez que tratamos de hacer una descripción. Yo he vivido con esto, por casualidad, a lo largo de mi existencia, lo cual me produce un placer especial: el tipo de matemática que he realizado desde mi infancia es geométrico. Sin embargo, no se trata ya de una cuestión de gusto personal o profesional, puesto que hoy por hoy constituye el lenguaje cotidiano de la explicación científica. Hablamos de cómo se unen los cristales, de cómo los átomos están formados por sus componentes y, sobre todo, de cómo las moléculas vivas están constituidas de sus partes. La estructura espiral del DNA se ha convertido en la imagen más vívida de la ciencia en los últimos años. Y esa imagen vive en estos arcos.

¿Qué hizo la gente que intervino en esta y otras construcciones? Tomaron un montón de piedras inertes, que no constituyen una catedral, y le dieron la forma de ésta, explotando las fuerzas naturales de la gravedad, la propia naturaleza de la disposición de las capas de suelos, la brillante invención del contrafuerte volante y del arco, y así sucesivamente. Y crearon una estructura que surgió del análisis de la naturaleza, originando esta magnífica síntesis. El tipo de hombre que se interesa hoy por la arquitectura de la naturaleza constituye el equivalente de aquél que creó tal arquitectura hace casi ochocientos años. Entre otros dones que hacen único al hombre entre los animales, se destaca el que aquí podemos detectar por doquiera: el gran placer que experimenta al ejercitar y avanzar sus propias habilidades.

Un adagio popular en filosofía reza que la ciencia es análisis puro o reduccionismo, algo parecido a fragmentar el arco iris; y que el arte es síntesis pura, como el volver a unir los fragmentos del arco iris. Esto no es verdad. La imaginación parte del análisis de la naturaleza. Miguel Angel afirmó esto vívidamente, implícitamente, mediante su obra escultórica (notándose especialmente en las esculturas que dejó sin terminar) y que también expresó explícitamente en sus sonetos sobre el acto creativo.

*Cuando aquello que es divino en nosotros intenta
dar forma a un rostro, cerebro y mano se unen
para dar, partiendo de mero modelo frágil y leve,
vida a la piedra por la energía libre del Arte.*

«Cerebro y mano se unen»: el material se impone a través de la mano, prefigurando la forma de la obra para el cerebro. Al igual que el albañil, el escultor persigue la forma dentro de la naturaleza, y para él ésta ya se encuentra ahí. Este principio es constante.

*Los mejores artistas no intentan mostrar
lo que la dura roca en su cubierta no encierra:
romper el hechizo del mármol
es todo lo que la mano, sierva del cerebro, puede hacer.*

En la época en que Miguel Angel esculpía la cabeza de Bruto, otros hombres se encargaban de extraer el mármol para él. Pero Miguel Angel se había iniciado como cantero en Carrara, y aún sentía que el martillo en manos de ellos y en las suyas golpeaba la roca para extraer de ésta una forma que ya se encontraba allí

Los canteros trabajan ahora en Carrara para los escultores modernos que vienen a este sitio: Marino Marini, Jacques Lipchitz y Henry More. Sus descripciones de la propia obra no son tan poéticas como la de Miguel Angel, pero contienen el mismo sentir. Las reflexiones de Henry More son particularmente significativas en tanto se refieren al primer genio de Carrara.

Para empezar, como joven escultor, yo no podía comprar piedra cara, y conseguía la mía buscando en canteras, hasta que encontraba alguna que denominaban «inútil» Entonces tenía que pensar, en la misma forma en que debió haberlo hecho Miguel Angel, de modo que debía esperar hasta que me viniera alguna idea que se ajustara a la forma de la piedra, es decir, una idea que se percibía en aquel bloque.

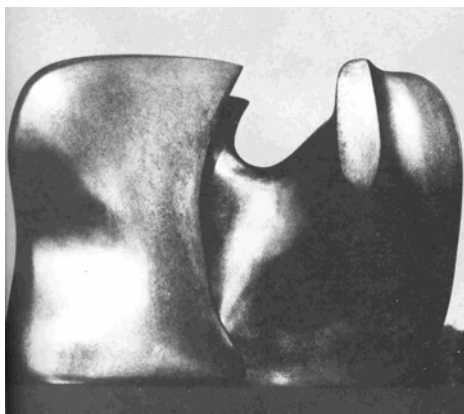
Por supuesto que no puede ser literalmente cierto que lo que el escultor imagina y esculpe ya se encuentra ahí, oculto en el bloque. Y, sin embargo, la metáfora es veraz en cuanto a la relación de descubrimiento que existe entre el hombre y la naturaleza; y es significativo que los filósofos de la ciencia (Leibniz en particular) hayan recurrido a la misma metáfora de la mente estimulada por una veta en el mármol. En cierto sentido, todo lo que descubrimos ya se encuentra ahí: tanto una figura esculpida como la ley de la naturaleza se hallan concentradas en el material bruto. Mientras que en otro sentido, lo que el hombre descubre es descubierto *por él*; no adquiriría exactamente la misma forma en manos de otro: ni la figura escultórica ni la ley de la naturaleza resultarían en copias idénticas al ser producidas por dos mentes distintas en dos épocas diferentes. El descubrimiento consiste en una relación aparejada de análisis y de

síntesis. Como análisis, busca lo que está presente; mas como síntesis vuelve a unir las partes en una forma mediante la cual la mente creadora trasciende los límites desnudos, el esqueleto descarnado, que proporciona la naturaleza.

La escultura es un arte sensual. (Los esquimales elaboran estatuillas con la idea no de verlas sino de palparlas) De modo que podría parecer extraño que yo elija como modelo de la ciencia, concebida generalmente como una empresa abstracta y fría, las cálidas acciones físicas de la escultura y de la arquitectura. No obstante, esto es válido. Debemos entender que el mundo sólo puede ser comprendido mediante la acción y no a través la contemplación. La mano es más importante que el ojo. No pertenecemos a aquellas civilizaciones resignadas y contemplativas del Lejano oriente o de la Edad Media, que creían que el mundo sólo debía ser contemplado y meditado, distantes del concepto de ciencia que nosotros profesamos. Somos activos; y sabemos con certeza (ver pág. 177), como algo más que un accidente simbólico en la evolución del hombre, que es la mano la encargada de conducir la evolución subsecuente del cerebro. Hallamos en la actualidad herramientas hechas por el hombre antes de convertirse en tal. En 1778, Benjamín Franklin denominó al hombre «animal hacedor de herramientas», y esto es verdad.

He descrito la mano cuando utiliza una herramienta como instrumento de descubrimiento; ése es el tema de este ensayo. Esto lo vemos cada vez que un niño aprende a acoplar su mano con un instrumento: atar los cordones de sus zapatos, enhebrar una aguja, volar una cometa, soplar un silbato. A la acción práctica se incorpora otra, que consiste en encontrar placer derivado de la misma acción; en la habilidad que uno perfecciona cada vez más como consecuencia del placer experimentado. Esto, en el fondo, responsable de toda obra de arte, y también de la ciencia nuestro deleite poético en lo que hacemos como seres humanos por que podemos hacerlo. El aspecto más estimulante de todo esto es que el uso poético termina dando resultados profundos. Incluso en la prehistoria, el hombre ya elaboraba herramientas más afiladas de lo necesario. El filo más fino habría de proporcionar un uso más fino de la herramienta, un refinamiento práctico y una extensión hacia procesos para los cuales la herramienta no había sido diseñada

Henry More llamó a esta escultura «*El filo del cuchillo*». La mano es el filo de la mente. La civilización no es una colección de artefactos terminados, es la elaboración de procesos. Al final, la marcha del hombre es el refinamiento de la mano en acción.



*Figura 15. La mano es el filo de la mente.
Escultura, Henry More, 1962 “El filo del cuchillo en dos piezas”.*

El estímulo más poderoso en el ascenso del hombre es el placer que le proporciona su propia habilidad. Disfruta con hacer lo que puede hacer bien y, al haberlo hecho bien, disfruta haciéndolo mejor. Esto lo vemos en la ciencia. Esto lo apreciamos en la magnificencia con la que esculpe y construye, el cuidado escrupuloso, el entusiasmo, el desafío se supone que los monumentos están destinados a evocar reyes y religiones, héroes, dogmas; pero, a fin de cuentas, al hombre a quien conmemoran es al constructor.

Así, pues, la arquitectura de los templos de todas las civilizaciones proclama la identificación del individuo con la especie humana. Llamarla culto a los antepasados, como ocurre en china, es demasiado limitado. El hecho es que el monumento habla por el hombre muerto al hombre vivo, estableciendo, por tanto, un sentido de permanencia que es un enfoque típicamente humano: el concepto de que la vida humana forma una continuidad que trasciende y fluye a través del individuo. El hombre sepultado sobre su caballo o venerado en su barco en Sutton Ho, se convierte, en los monumentos de piedra de épocas posteriores, en un vocero de la creencia de que existe la entidad del género humano, del cual cada uno de nosotros constituye un representante en la vida y en la muerte.

No podría terminar este ensayo sin dedicar una ojeada a mis monumentos favoritos, contruidos por un hombre que no contaba con más equipo científico que el de un albañil gótico. Son las Torres de Watts, en los Angeles, construidas por un italiano llamado Simón Rodia. Procedente de Italia, arribó a los Estados Unidos a la edad de doce años. Luego, a la edad de cuarenta y dos, habiendo trabajado instalando azulejos y haciendo toda clase de reparaciones, decidió construir en el jardín de su casa estas enormes estructuras, realizadas con alambre de gallinero, traviesas de ferrocarril, varillas de acero, cemento, conchas, fragmentos de vidrio, y, por supuesto, de azulejos; empleaba todo lo que encontraba o que le era traído por los niños del vecindario. Le costó treinta y tres años construirlas. Nunca tuvo quien le ayudara porque, afirmaba, «la mayor parte del tiempo yo mismo no sabía lo que iba a hacer». Terminó la obra en 1954; tenía entonces setenta y cinco años. Hizo entrega de la casa, del jardín y de las torres a un vecino y, sencillamente, se marchó «Tenía en mente realizar algo grande», había dicho Simón Rodia, «y lo hice. Tienes que ser realmente muy bueno o muy malo para ser recordado». Había desarrollado su habilidad ingenieril en la práctica, trabajando y disfrutando en hacerlo. Por supuesto, el Departamento de construcciones de la ciudad determinó que las torres eran poco seguras y fueron sometidas a prueba en 1959. Esta es la torre que intentaron derribar. Y me alegra decir que fracasaron. Es así que las Torres de Watts, labor manual de Simón Rodia, han sobrevivido; un monumento del siglo veinte que nos remite a la habilidad simple, feliz, fundamental, de la cual medra todo nuestro conocimiento de las leyes de la mecánica.



Figura 16. Monumentos contruidos por un hombre que no contaba con más equipo científico que el de un albañil gótico.

Las Torres de Watts, Los Angeles. Detalle de un mosaico con relieves de herramientas.

La herramienta que alarga la mano del hombre es también un instrumento de visión. Revela la estructura de las cosas hace posible el volver a unirlas en combinaciones nuevas llenas de imaginación. Mas, evidentemente, lo visible no constituye la única estructura del mundo. Debajo de esta, existe otra estructura más sutil. Y el siguiente paso en el ascenso del hombre será el de descubrir la herramienta que pueda abrir la estructura invisible de la materia.

4 LA ESTRUCTURA OCULTA

*Es con fuego que el herrero al metal domina
para darle bella forma, la imagen de su mente:
sin fuego no hay artista que al oro pueda dar
su más puro matiz.
No, ni el ave fénix incomparable puede
a menos que se abraze.*

Miguel Angel, soneto 59

*Lo que se forja con el fuego es alquimia, ya sea en un horno o en la estufa de la cocina.
Paracelso*

Existe un gran misterio y una fascinación especial sobre la relación del hombre con el fuego, único de los cuatro elementos griegos que ningún animal habita (ni incluso la salamandra). La ciencia física moderna se ocupa intensamente de la fina estructura invisible de la materia, la cual fue penetrada primero con el afilado instrumento que es el fuego. Aunque tal método analítico se inició hace varios miles de años en procesos prácticos (por ejemplo: la extracción de sal y de metales), es seguro que empezó debido al aire de magia que surge del fuego: el alquímico sentir de que las sustancias pueden ser cambiadas de maneras imprevisibles. Esta es la misteriosa cualidad que parece hacer del fuego una fuente de vida y algo viviente que nos conduce al inframundo oculto dentro del mundo material. Así lo expresan muchas recetas arcaicas.

La consistencia del cinabrio es tal que, a mayor temperatura, más exquisitas son sus sublimaciones. El cinabrio se convertirá en mercurio y, pasando a través de una serie de sublimaciones, se volverá a convertir en cinabrio, permitiendo así al hombre gozar de vida eterna.

Este es el experimento clásico con el que los alquimistas la Edad Media imponían respeto a aquellos que les observaban, desde la china hasta España. Solían tomar el pigmento rojo, el cinabrio, que es un sulfuro de mercurio, y lo calentaban. El calor separa el azufre y deja una perla exquisita del misterioso, plateado y líquido metal, el mercurio, asombrando y pasmando al observador, cuando el mercurio se calienta al aire, se oxida y se convierte, no (como indicaba la receta) en cinabrio de nuevo, sino en un óxido de mercurio que también es rojo. Empero, la receta no estaba del todo equivocada; el óxido se puede convertir de nuevo en mercurio, de rojo a plateado, el mercurio en óxido, de plateado a rojo, todo por la acción del calor. No se trata en sí de un experimento importante, aunque resulta que el azufre y el mercurio son los dos elementos que los alquimistas anteriores a 1500 d. de C. creían que componían el universo, Pero sí plantea algo importante, que consiste en que el fuego siempre ha sido considerado no como elemento destructivo sino más bien como elemento transformador. Esta ha sido siempre la magia del fuego.

Recuerdo una prolongación charla que sostuve una noche con Aldous Huxley, sus blancas manos al fuego, diciendo: «Esto es lo que transforma. Estas son las leyendas que lo demuestran. Sobre todo la leyenda del Ave Fénix que renace en el fuego y vive y revive una y otra vez, de generación en generación». El fuego es imagen de juventud y de sangre, color simbólico del rubí y del cinabrio, y del ocre y del hematites con que el hombre se maquillaba para las ceremonias. Cuando, según la mitología griega, Prometeo trajo el fuego al hombre, le dio vida y lo convirtió en un semidiós; por esto los dioses castigaron a Prometeo.

Desde un punto de vista más práctico, y según creemos, el fuego ha sido familiar para el hombre desde hace cerca de cuatrocientos mil años. Esto implica que el fuego ya había sido descubierto por el *Homo erectus*; como ya indiqué, lo hubo ciertamente en las cuevas del hombre de Pekín. A partir de entonces, todas las culturas han *hecho uso* del fuego, a pesar de que no se ha aclarado plenamente si todas ellas sabían cómo *hacer* fuego; desde el comienzo de la historia se ha encontrado una tribu (los pigmeos, en la selva tropical lluviosa de las Islas Andaman al sur de Birmania), quienes mantenían cuidadosamente los incendios espontáneos por que desconocían la técnica para hacer fuego.

En general, las distintas culturas han empleado el fuego para los mismos fines: para calentarse, para alejar a los depredadores y desmontar bosques, y para realizar las transformaciones sencillas de la vida cotidiana, tales como cocinar, secar y endurecer la madera, calentar y partir piedras. Pero, evidentemente, la gran transformación que ayudó a forjar nuestra civilización es más profunda: es la utilización del fuego la que abrió la perspectiva a una clase totalmente nueva de materiales, los metales. Este es uno de los grandes pasos técnicos, un paso muy largo en el ascenso del hombre, que está a la par con la invención magistral de las herramientas de piedra; pues descubrió en el fuego un instrumento más sutil para desmenuzar la materia. La física es el cuchillo que corta la veta de la naturaleza; el fuego, espada llameante, es el cuchillo que corta por debajo de la estructura visible, dentro de la roca.

Hace casi diez mil años, no mucho después del inicio de las comunidades agrícolas sedentarias, los hombres del Oriente Medio empezaron a utilizar el cobre. Mas el empleo de los metales no se generalizaría hasta encontrar un proceso sistemático para obtenerlos o sea la extracción de los metales a partir de los minerales metalíferos, que, según sabemos, principió hace bastante más de siete mil años, hacia el año 5000 a. de C., en Persia y Afganistán. Por entonces, el hombre puso al fuego una piedra verde, la malaquita, de la cual fluyó un metal rojo, el cobre. Afortunadamente, el cobre se libera a temperaturas moderadas. Reconocieron el cobre por que en ocasiones se encuentra en terrones superficiales, y en aquella forma ya había sido moldeado y trabajado durante más de dos mil años.

El Nuevo Mundo también trabajaba el cobre y lo fundía hacia la época de Cristo; pero se detuvo ahí. Sólo el Viejo Mundo hizo del metal el fundamento de la vida civilizada. De pronto, los límites de control del hombre se amplían grandemente. Tiene bajo su dominio un material que puede ser moldeado, fundido, martillado, forjado; que se puede convertir en herramienta, en objeto ornamental, en recipiente; y que además se puede devolver al fuego y remodelarse. Tiene solamente un inconveniente: el cobre es un metal blando. En cuanto el cobre esté sometido a tensión, por ejemplo, al estirarlo en forma de alambre, empieza a ceder visiblemente. Esto se debe a que, como todos los metales, el cobre puro está compuesto de capas cristalinas. Y estas capas cristalinas, cada una como una oblea cuyos átomos están dispuestos en forma de red, se deslizan unas sobre otras, hasta que finalmente se separan. Cuando el alambre de cobre empieza a estrecharse (o sea se debilita) no es tanto que ceda a la tensión cuanto que falla por deslizamiento interno.

Por supuesto que el cobrero de hace seis mil años desconocía todo esto. Encaraba un complejo problema, consistente en que el cobre no puede ser afilado. Durante un breve período de tiempo, el ascenso del hombre estuvo suspendido en espera del siguiente paso: lograr un metal duro con filo cortante. Si esto parece mucho decir sobre un avance técnico, se debe a que, como descubrimiento, el paso siguiente es tan paradójico y bello.

Si planteamos el siguiente paso en términos modernos, lo que tenía que hacerse era francamente sencillo. Hemos dicho que el cobre puro es un metal suave por que sus cristales se ubican en planos paralelos que se desplazan fácilmente entre sí. (Puede endurecerse bastante martillándolo para romper los cristales grandes dejándolos dentados) De lo anterior se deduce que si introducimos algo arenoso en los cristales se evitará el desplazamiento de los planos, endureciendo así al metal. Es evidente que, a escala de la estructura fina que estoy describiendo, el algo arenoso debe consistir en átomos de distinta clase que reemplacen a

algunos de los átomos de cobre en los cristales. Tenemos que efectuar una aleación cuyos cristales sean más rígidos, debido a que sus átomos no son todos de la misma clase.

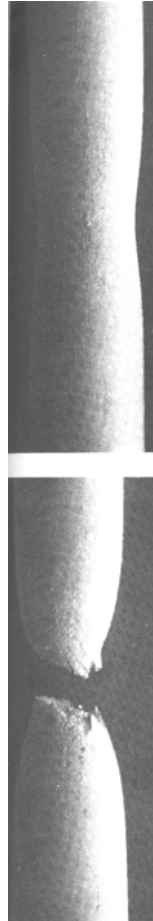


Figura 17. En cuanto el cobre esté sometido a tensión, por ejemplo, al estirarlo en forma de alambre, empieza a ceder visiblemente.

El rompimiento del cobre ocurre por el desplazamiento interno de los cristales antes de la fractura. Magnificación 15x.

Esto forma el contexto moderno; sólo en los últimos cincuenta años hemos llegado a comprender que las propiedades particulares de las aleaciones se derivan de su estructura atómica. Y no obstante, por casualidad o por experimentación, los fundidores primitivos encontraron esta respuesta: a saber, que cuando al cobre se le añade un metal aún más suave, el estaño, se obtiene una aleación que es más sólida y más duradera que ambos metales: el bronce; El fortuito descubrimiento se debió posiblemente a que, en el Viejo Mundo, los minerales metalíferos del estaño y del cobre se encuentran conjuntamente. El hecho es que casi todo material puro es débil, y muchas impurezas lo harán más fuerte. El efecto del estaño no es una función única sino general: agrega al material puro una especie de arena atómica: puntos de aspereza diferente que se adhieren a las redes cristalinas y que evitan que éstas se deslicen.

Me he empeñado tanto en describir la naturaleza del bronce en términos científicos por tratarse de un descubrimiento tan maravilloso. Y es también maravilloso como revelación del potencial que conlleva un nuevo proceso y que sugiere a quienes lo manejan. Los trabajos en bronce alcanzaron en China su máxima expresión. Casi con certeza, éste llegó a China procedente del Oriente Medio, donde fue descubierto hacia 3800 a. de C. La era superior del bronce en china es también el inicio de la civilización china tal como nosotros la concebimos: la dinastía Chang, antes de 1500 a. de C.

La dinastía Chang gobernaba a un conjunto de dominios feudales en el valle del río Amarillo, y creó por primera vez un estado unitario y cultural en china. Fue en todos sentidos un período formativo, en el cual se desarrolló la cerámica y la escritura fue fijada. (Es la tan sorprendente caligrafía, tanto de la cerámica como de los bronce) Los bronce de la era superior se elaboraban con oriental atención al detalle, lo cual es fascinante en sí mismo.

Los chinos construían el molde para fundir el bronce con tiras de arcilla colocadas alrededor de un centro de cerámica. Tales tiras han llegado hasta nuestros días, lo cual nos ha permitido conocer dicho proceso. Podemos seguir la preparación del centro de cerámica, la incisión del diseño, y particularmente las inscripciones caligráficas, en las tiras formadas sobre el centro. Estas forman un molde externo que se endurece al horno para que reciba el metal fundido. Incluso podemos seguir la preparación tradicional del bronce. Las proporciones de cobre y estaño que utilizaban los chinos eran bastante precisas. El bronce se puede hacer a partir de cualquier proporción entre, digamos, el cinco y el veinte por ciento de estaño agregado al cobre. Pero los mejores bronce Chang contienen el quince por ciento de estaño y, en ese punto, la finura de la fundición es perfecta. En esa proporción, el bronce es casi tres veces más duro que el cobre.

Los bronce Chang eran objetos ceremoniales divinos. Estos expresan por China un culto monumental que, al mismo tiempo en Europa, estaba edificando Stonehenge. A partir de ese momento, el bronce se convierte en un material de usos múltiples, el plástico de su época. Y posee esta cualidad universal dondequiera que se encuentra, en Europa y en Asia.

Pero en el clímax de la artesanía china, el bronce expresa algo más. El encanto de estos trabajos chinos, recipientes para vino y comida, en parte profanos y en parte divinos, consiste en que constituyen un arte que se desarrolla espontáneamente a partir de su propia técnica. El artesano está regido y dirigido por el material; la forma y superficie de su diseño emanan del proceso. La belleza que crea, la maestría que comunica, proceden de su propia dedicación a su arte.

El contenido científico de estas técnicas está bien definido. Con el descubrimiento de que el fuego puede fundir los metales aparece, con el tiempo, el descubrimiento más sutil consistente en que el fuego también puede fundirlos conjuntamente para crear una aleación con nuevas propiedades. Esto ocurre tanto en el hierro como en el cobre.

De hecho, el paralelo entre los metales se mantiene en cada etapa. El hierro también se empleó por vez primera en estado natural; el hierro en bruto llega a la superficie de la Tierra a través de los meteoritos, razón por la cual lleva el nombre sumerio de «metal del cielo». Cuando, tiempo después, el mineral metalífero del hierro fue fundido, el metal se reconocía por que ya había sido utilizado. Los indígenas de América del Norte utilizaban el hierro meteorítico, pero nunca pudieron fundir el mineral metalífero.

Como el hierro es mucho más difícil de extraer del mineral metalífero que el cobre, el hierro fundido es, naturalmente, un descubrimiento muy posterior. La primera evidencia positiva de su utilización práctica es probablemente un fragmento de herramienta que quedó atrapada en una de las pirámides; esto lo data a antes de 2500 años a. de C. Pero el uso extensivo del hierro fue iniciado realmente por los hititas, cerca del Mar Negro, hacia 1500 a. de C., justamente durante el apogeo del bronce en china, la época de Stonehenge.

Y así como el cobre llega a su mayoría de edad por su aleación, el bronce, el hierro llega mediante su aleación, el acero. Quinientos años después, hacia 1000 a. de C, el acero se elabora en la India y las cualidades extraordinarias de los diferentes tipos de acero empiezan a ser conocidas. Sin embargo, el acero siguió siendo un material especial y en ciertos aspectos raro, de limitado uso hasta épocas muy recientes. Hace escasamente dos siglos que la industria del acero en Sheffield (Inglaterra) era todavía pequeña y estaba atrasada, y el cuáquero Benjamín

Huntsman, que quería hacer un resorte de precisión para reloj, tuvo que convertirse en metalúrgico y descubrir por sí mismo cómo manufacturar el acero.

Puesto que he vuelto la cabeza hacia el Lejano Oriente para contemplar la perfección del bronce, incluiré también un ejemplo oriental de las técnicas que producen las propiedades especiales del acero. A mi parecer, éstas alcanzan su clímax en la elaboración de la espada japonesa, proceso en vigor en una u otra forma desde el año 800 d. de C. Al igual que en toda la metalurgia arcaica, la fabricación de la espada está rodeada de rituales, y esto es por una sencilla razón. Cuando se carece de lenguaje escrito, cuando no se posee nada que pueda llamarse fórmula química, se debe recurrir a un ceremonial muy preciso que fije la secuencia de las operaciones de tal manera que sean exactas y fáciles de recordar.

Así que existe una suerte de imposición de manos, una sucesión apostólica mediante la cual una generación bendice y transmite a la siguiente los materiales, bendice el fuego y bendice al forjador de espadas. El hombre que aquí fabrica la espada ostenta el título de «Monumento cultural viviente», concedido formalmente por el gobierno japonés a los principales maestros de las artes arcaicas. Su nombre es Getsu. Y, en un sentido formal, es descendiente directo en su arte del fabricante de espadas Masamune, que perfeccionó el proceso en el siglo trece con el fin de rechazar a los mogoles. O así lo afirma la tradición; es cierto que en aquel entonces, en repetidas ocasiones, los mogoles trataron de invadir el Japón desde China, bajo el mando del nieto de Gengis Khan, el famoso Kublai Khan.

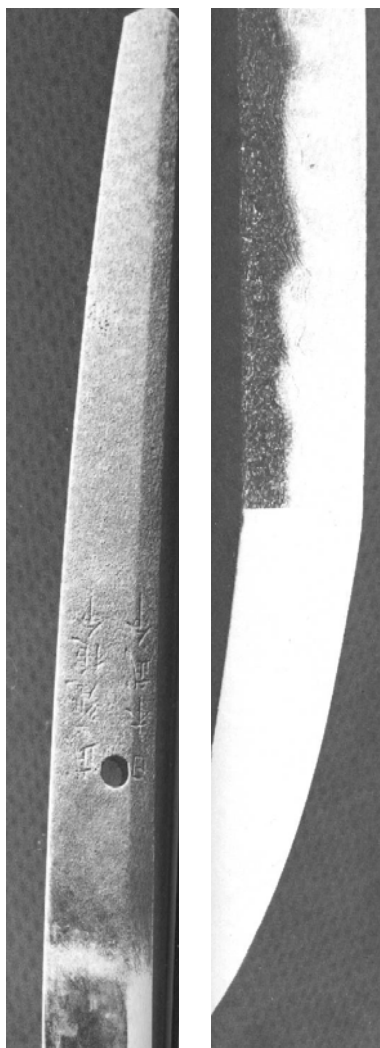
El hierro es un descubrimiento posterior al del cobre, debido a que en cada etapa necesita mayor temperatura: en la fundición, el moldeado y, naturalmente, en el procesamiento de su aleación, el acero. (El punto de fusión del hierro es cercano a los 1500°C, casi 500°C superior al del cobre) Tanto en el proceso de fundición como en su respuesta a las aleaciones, el acero es un material infinitamente más sensible que el bronce. En él se alea el hierro con un pequeño porcentaje de carbón, comúnmente menos del uno por ciento, y las variaciones en ello determinan las propiedades fundamentales del acero.

El proceso de elaboración de la espada refleja un acucioso control del carbón y del tratamiento al calor por medio de los cuales el objeto de acero se ajusta a su función perfectamente aún el del lingote de acero no es sencillo, ya que la espada debe combinar dos propiedades diferentes e incompatibles de los materiales. Debe ser flexible y dura a la vez. Estas no son propiedades que se puedan incorporar en un mismo material, a menos que esté formado de estratos. Para conseguir esto, el lingote de acero es cortado y doblado muchas veces hasta lograr una multitud de capas internas. La espada elaborada por Getsu requiere que el lingote sea doblado quince veces. Esto quiere decir que el número de estratos del acero será 2^{15} , lo que equivale a más de treinta mil estratos. Cada estrato debe estar unido al siguiente, el cual posee una propiedad diferente. Es como si él tratara de combinar la flexibilidad del hule con la dureza del vidrio. Y la espada, esencialmente, es un enorme emparedado de estas dos propiedades.

En la última etapa, la espada es preparada cubriéndola con arcilla en diferentes espesores, para que cuando sea templada y sumergida en el agua se enfríe a intervalos diferentes. La temperatura del acero para este momento final debe ser juzgada con precisión, y en una civilización en que esto no se efectúa por medición, «es la práctica observar el calentamiento de la espada hasta que brilla con el color del sol mañanero». Para ser justo con el forjador de espadas, debo decir que estas pistas proporcionadas por el color eran también tradicionales en la manufactura del acero en Europa todavía en el siglo dieciocho, el momento preciso de templar el acero era cuando su incandescencia se tornaba amarilla, púrpura o azul, de acuerdo con el uso a que estuviese destinado.

El punto crucial, no tanto dramático como químico, es el templado, que endurece la espada y fija sus distintas propiedades. Las diferentes escalas de enfriamiento producen cristales de formas y tamaños variados: cristales grandes y suaves en el centro flexible de la espada; cristales pequeños y dentados en el borde afilado. Las dos propiedades del hule y del vidrio se fusionan finalmente en la espada terminada. Se revelan en la superficie de la hoja cuyo resplandor de seda es sumamente apreciado por los japoneses. Mas la prueba de la espada, la

prueba de una práctica técnica, la prueba de una teoría científica es, «¿Funciona realmente?» ¿Puede cortar el cuerpo humano en la forma establecida por el ritual? Los cortes tradicionales están señalados tan cuidadosamente en diseños como los cortes de la carne de vaca en un diagrama de un libro de cocina: «corte número dos: el O-jo-dan». En nuestros días, el cuerpo humano se simula con un atado de paja; pero en el pasado la espada era probada literalmente utilizándola para ejecutar a un prisionero.



*Figura 18. Las dos propiedades se fusionan finalmente en la espada terminada.
Adorno de filigrana hecha por Nobuhide en el siglo diecinueve para el Emperador Meiji*

La espada es el arma de los samurai. Merced a ella sobrevivieron a interminables guerras civiles que dividieron el Japón a partir del siglo doce. los samurai estaban rodeados de metalistería refinada: la flexible armadura hecha de tiras de acero, los arreos de los caballos, los estribos. Y sin embargo, los samurai no sabían cómo hacer ninguna de estas cosas por sí mismos. Al igual que los jinetes de otras culturas, vivían del uso de la fuerza, e incluso para sus armas dependían de la habilidad de los aldeanos a quienes alternadamente protegían y robaban, con el tiempo, los samurai se convirtieron en un conjunto de mercenarios que vendían sus servicios a cambio de oro.

Nuestra comprensión de cómo está constituido el mundo de la materia a partir de sus elementos se deriva de dos fuentes. Una, que ya he trazado, es el desarrollo de técnicas para forjar y alear metales útiles. La otra es la alquimia, que posee un carácter diferente. De escala modesta, no

está encaminada a usos prácticos y contiene una parte sustancial de teoría especulativa. Por razones indirectas aunque no accidentales, el enfoque de la alquimia se concentraba en otro metal, el oro, que es virtualmente inútil. Pero el oro ha fascinado tanto a las sociedades humanas, que sería yo perverso si no intentase aislar las propiedades que le dotaron de su poder simbólico.

El oro es la recompensa universal en todos los países, en todas las culturas y épocas. Una colección representativa de artefactos de oro equivale a una crónica de las civilizaciones. Rosario de oro esmaltado, del siglo XVI, inglés. Broche de oro en forma de serpiente, del año 400 a. de C, griego. Triple corona de oro de Abuna, del siglo XII, abisinia. Brazaletes de oro en forma de serpiente, de la antigua Roma. Copas rituales de oro de Aquémenes, siglo VI a. de C, persas. Escudilla de oro para beber, siglo VIII a. de C, persa. Aureas cabezas de toro... cuchillo ceremonial de oro, chimú, era preincaica, peruanos, siglo IX...

Gran salero de oro esculpido, Benvenuto Cellini, del siglo XVI, hecho para el rey Francisco I. Cellini recuerda las palabras de su patrocinador francés:

Cuando le presenté al rey este trabajo, dio un grito sofocado de asombro y no le pudo quitar la mirada de encima. Y en su asombro gritó: «¡Es cien veces más celestial de lo que podía haber soñado! ¡Qué maravilla es el hombre!»

los españoles saquearon el Perú por su oro, que había sido coleccionado por la aristocracia inca como quien colecciona sellos de correos, con el toque de Midas. oro para la codicia, oro para el esplendor, oro para la ornamentación, oro para el culto, oro para el poder, oro para los sacrificios, oro para dar vida, oro para la ternura, oro bárbaro, oro voluptuoso...

Los chinos acertaron con la característica que lo ha hecho irresistible. Ko Hung dijo: «Así se funda cien veces, el oro amarillo no se estropeará». Esta frase nos hace comprender que el oro posee una cualidad física que lo hace singular: que puede ser probada y ensayada en la práctica y descrita por la teoría.

Es fácil observar que el hombre que elaboraba un artefacto de oro no era simplemente un técnico, sino un artista. Pero es igualmente importante, aunque no tan fácil de reconocer, que el que ensayaba el oro era también algo más que un técnico. El oro era para él un elemento científico. Poseer una técnica es útil, pero, como cualquier otra habilidad, lo que le da vida es el sitio que ocupa en un esquema general de la naturaleza: una teoría.

Los hombres que probaban y refinaban el oro descubrieron una teoría de la naturaleza: una teoría en la cual el oro era único, y no obstante podría obtenerse a partir de otros elementos. Esto explica por qué en la antigüedad se dedicó tanto tiempo e inteligencia al desarrollo de pruebas para la obtención de oro puro. A principios del siglo XVI, Francis Bacon planteó claramente la situación.

El oro posee estas propiedades: grandeza de peso, compactibilidad, fijación, ductibilidad o maleabilidad, inmunidad a la oxidación, color o matiz amarillo. Si un hombre puede crear un metal que posea todas estas características, dejad que los hombres discutan si es oro o no lo es.

Entre las variadas pruebas clásicas a que el oro es sometido, una en particular hace muy visible la propiedad diagnóstica. Se trata de una prueba precisa por copelación. Una vasija hecha de cenizas de hueso es calentada en el horno y sometida a una temperatura muy superior a la requerida para fundir el oro. El oro, con sus impurezas o escorias, se pone en la vasija y se derrite. (El oro tiene un punto de fusión relativamente bajo, un poco más de 1000°C, casi el mismo del cobre) Lo que sucede ahora es que la escoria se separa del oro y es absorbida por las paredes de la vasija así que, de pronto, se manifiesta una separación visible entre, por así decirlo, la escoria de este mundo y la pureza oculta del oro que la llama descubre. El sueño de los alquimistas, la creación del oro sintético, tiene que ser comprobada finalmente por la realidad de la perla de oro que sobrevive al experimento.

La capacidad del oro para resistir lo que se denominaba descomposición (lo que hoy

llamaríamos ataque químico) era singular, y por tanto de gran valor y diagnóstico. También conllevaba un simbolismo muy poderoso, el cual aparece explícitamente incluso en las fórmulas más primitivas. La primera referencia escrita a la alquimia con que contamos se remonta solamente a hace poco más de dos mil años y procede de china. Indica cómo hacer oro y cómo emplearlo para prolongar la vida. Para nosotros, esta resulta una conjunción extraordinaria. Para nosotros, el oro es precioso por que es escaso; mas para los alquimistas, en todas partes del mundo, el oro era invaluable por que resultaba incorruptible. Ningún ácido o álcali conocido hasta entonces podía atacarlo. De hecho, así es como los orfebres del emperador ensayaban el oro o, como ellos habrían dicho, lo partían, mediante un tratamiento con ácidos que era menos laborioso que la copelación.

Cuando la vida era considerada (y lo era para la mayoría de la gente) solitaria, pobre, vulgar, brutal y breve, para los alquimistas el oro representaba la única chispa eterna en el cuerpo humano. Sus intentos por elaborar oro y por hallar el elixir de la vida eran uno y el mismo empeño. El oro es el símbolo de la inmortalidad, aunque no debería decir símbolo, ya que en el sentir de los alquimistas el oro constituía la expresión, la encarnación de la incorruptibilidad, tanto en el mundo físico cuanto en el mundo viviente.

De modo que, cuando los alquimistas intentaban transmutar metales bajos de ley en oro, la transformación que buscaban en el fuego era el paso de lo corruptible a lo incorruptible; trataban de extraer de lo cotidiano la calidad de permanencia. Y esto se aplicaba igualmente a la búsqueda de la eterna juventud: toda medicina para combatir la vejez contenía oro, oro metálico, como ingrediente esencial, y los alquimistas instaban a sus benefactores a que bebiesen de copas de oro para prolongar la vida.

La alquimia es mucho más que un conjunto de trucos mecánicos o una creencia imprecisa en la magia. Es en el fondo una teoría de cómo se relaciona el mundo con la vida humana. En una época en que no existía una distinción clara entre sustancia y proceso, entre elemento y acción, los elementos alquímicos constituían también aspectos de la personalidad humana, así como los elementos griegos eran también los cuatro humores que se combinaban en el temperamento humano. Y de su trabajo se desprende una teoría importante que se origina en la concepción griega de tierra, fuego, aire y agua, pero que durante la Edad Media adoptó una forma nueva y de gran importancia.

Existía para los alquimistas una afinidad entre el microcosmo del cuerpo humano y el macrocosmo de la naturaleza. Un volcán en gran escala era como un divieso; una tempestad o una tormenta eran como las lágrimas y el llanto. Bajo estas analogías superficiales existía el concepto más profundo de que el universo y el cuerpo humano están conformados por los mismos materiales, principios o elementos

Para los alquimistas existían dos principios. Uno era el mercurio, que representaba todo lo denso y permanente. El otro era el azufre, que representaba todo lo inflamable y pasajero. Todos los seres materiales, incluido el cuerpo humano, estaban hechos a partir de estos dos principios y podían reconstruirse a partir de ellos. Por ejemplo, los alquimistas creían que todos los metales crecían dentro de la tierra y provenían del mercurio y del azufre, lo mismo que los huesos crecen dentro del embrión a partir del huevo. Y en verdad creían en esta analogía. Aún persiste tal simbología en la medicina actual. Seguimos utilizando en nuestros días para la hembra el símbolo alquímico del cobre, es decir, de lo que es frágil: Venus. Y para el varón el signo alquímico del hierro, es decir, de lo que es duro: Marte

En la actualidad, esta parece una teoría muy infantil, una mezcolanza de fábulas y comparaciones falsas. Mas nuestra química también parecerá infantil dentro de quinientos años. Toda teoría se basa en alguna analogía, y tarde o temprano la teoría se derrumba por que la analogía resulta ser falsa. En su momento, una teoría ayuda a resolver los problemas de su tiempo. Y los problemas médicos no empezarán a resolverse sino hasta 1500, debido a que se pensaba que todos los remedios debían derivarse ya fuera de las plantas o bien de los animales,

una especie de vitalismo que no admitía que los compuestos del cuerpo eran como otros compuestos químicos, y que limitaba por tanto a la medicina al empleo de hierbas curativas.

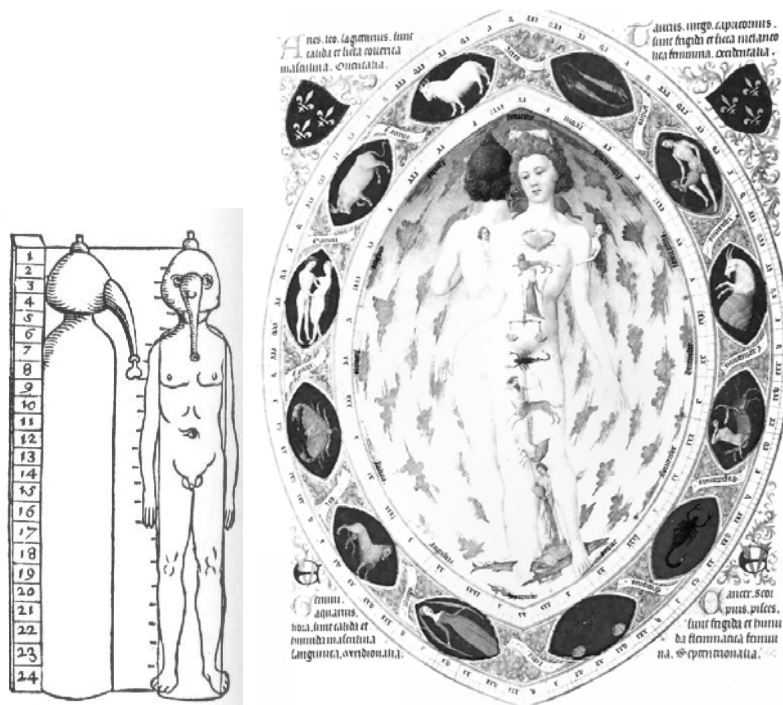


Figura 19. El universo y el cuerpo están conformados por los mismos materiales, principios o elementos.

Figura de Paracelso del horno para el cuerpo, con una escala para el estudio de la orina en el diagnóstico de la enfermedad, del trabajo “Aurora Thesaurusque Philosophorum”

Figura de Paracelso de los tres elementos: tierra, aire y fuego. La correspondencia entre las formas astronómicas y anatómicas según la teoría alquímica de la Naturaleza.

Ahora bien, los alquimistas introdujeron libremente los minerales en la medicina: la sal, por ejemplo, dio origen a un cambio notable, y un nuevo teórico de la alquimia la convirtió en su tercer elemento. Desarrolló también una curación característica para una enfermedad que asolaba a Europa en 1500, desconocida hasta entonces, el nuevo azote de la sífilis. Aun día desconocemos dónde se originó la sífilis. Pudo haber sido traída de vuelta por los marineros que acompañaron a Colón; o propagada desde el oriente a través de las conquistas mogólicas; o simplemente no había sido identificada antes como enfermedad aislada. Resultó que su curación dependía del uso del metal alquímico más poderoso, el mercurio. El hombre que implementó esa curación dio un gran paso de la vieja alquimia a la nueva, en camino hacia la química moderna: iatroquímica, bioquímica, la química de la vida. Trabajaba en Europa en el siglo XVI. El lugar era Basilea, en Suiza. Corría el año de 1527.

Hay un instante en el ascenso del hombre en que éste abandona el país de las tinieblas del conocimiento secreto y anónimo para adentrarse en un nuevo sistema del descubrimiento abierto y personal. El hombre que he elegido como símbolo de éste fue bautizado como Aureolus Philippus Theophrastus Bombastus von Hohenheim. Felizmente, decidió adoptar el nombre bastante más compacto de Paracelso, para hacer público su desprecio de Celso y otros autores que habían fallecido hacía más de mil años, pero cuyos textos médicos eran vigentes todavía durante la Edad Media. En el año 1500, los trabajos de los autores clásicos se seguían considerando como portadores de la inspirada sabiduría de una época áurea tanto de la medicina y de la ciencia como de las artes.

Paracelso nació cerca de Zurich en 1493 y murió en Salzburgo en 1541 a la temprana edad de

cuarenta y ocho años, se convirtió en un perpetuo desafío de todo lo académico: por ejemplo, fue el primero en identificar una enfermedad producida por el trabajo. De la prolongada batalla librada por el impertérrito Paracelso a lo largo de su vida contra la más vieja tradición de su tiempo – la práctica de la medicina –, conocemos episodios tanto grotescos como encantadores. Su cabeza era fuente inagotable de teorías, muchas de ellas contradictorias, la mayoría absurdas. Era un personaje rabelesiano, picaresco, salvaje; se embriagaba con los estudiantes, corría tras las mujeres, viajaba por todo el Viejo Mundo y, hasta hace poco, figuraba en las historias de la ciencia como un charlatán. Mas no lo era. Era un hombre de genio inestable pero profundo.

El hecho es que Paracelso era un personaje. Descubrimos en él, quizás por primera vez, cómo un descubrimiento científico fluye de la personalidad y cobra vida conforme observamos que es creado por una persona. Paracelso era un hombre práctico que entendía que el tratamiento de un paciente dependía del diagnóstico (él era un diagnosticador brillante) y que el tratamiento debería ser aplicado directamente por el médico. Rompió con la tradición de que el médico era un académico erudito que leía de un libro muy antiguo, mientras que el infeliz paciente estaba en manos de algún ayudante que se limitaba a hacer lo que el médico ordenaba. «No debe haber ningún cirujano que no sea también médico», escribió Paracelso. «Donde el médico no sea también cirujano, no será más que un ídolo que no es sino monigote».

Tales aforismos no hicieron gozar a Paracelso de la simpatía de sus rivales, pero con el los atrajo la atención de otras entes independientes de la era de la Reforma. Por esto fue llevado a Basilea, por el único año de triunfo de su desastrosa carrera internacional. En Basilea, en el año 1527, Johann Frobenius, famoso impresor protestante y humanista, padecía de una grave infección de una pierna – que estaba a punto de serle amputada –, y en su desesperación recurrió a sus amigos del nuevo movimiento, quienes le enviaron a Paracelso. Este expulsó a los académicos de la habitación, salvó la pierna y efectuó una curación que tuvo eco por toda Europa. Erasmo le escribió lo siguiente: «Has salvado a Frobenius, que es la mitad de mi vida, del mundo de las sombras».

No es casual que las nuevas ideas iconoclastas en medicina y en el tratamiento químico aparezcan conjuntamente, en época y lugar, con la reforma iniciada por Lutero en 1517. Un centro de aquel período histórico era Basilea. El humanismo había florecido allí aun antes de la Reforma. Existía una universidad con tradición democrática, de modo que, pese a que sus médicos miraban con recelo a Paracelso, el consejo de la ciudad pudo insistir en que se le admitiese como catedrático. La familia Frobenius imprimía libros, entre ellos algunas obras de Erasmo, que difundían la nueva visión general de todas las ramas del conocimiento.

Se estaba generando un gran cambio en Europa, más grande quizá que el enorme revuelo religioso y político echado a andar por Martín Lutero. Se aproximaba 1543, año simbólico del destino. Durante ese año se publicaron tres libros que habrían de cambiar la mentalidad europea: las ilustraciones anatómicas de Andrés Vesalio; la primera traducción de la matemática y física griegas de Arquímedes; y el libro de Nicolás Copérnico, *La revolución de los orbes celestes*, que ubicaba al sol en el centro de los cielos, creando lo que hoy se conoce como la Revolución Científica.

Toda esa batalla entre el pasado y el futuro fue resumida proféticamente en 1527, en un acto realizado delante de la catedral, en Basilea. En público, Paracelso arrojó a la hoguera tradicional de los estudiantes un antiguo texto médico escrito por Avicena, un discípulo árabe de Aristóteles

Hay algo simbólico en esa hoguera veraniega, e intentaré evocarlo en el presente. El fuego es el elemento alquímico mediante el cual puede el hombre profundizar en la estructura de la materia. Luego entonces, ¿es el fuego una forma de materia?. Si usted cree eso tendrá que atribuir al fuego toda clase de propiedades insólitas, tales como que es más ligero que la nada. Dos siglos después de Paracelso, hacia 1730, los químicos aseveran esto por medio de la teoría del flogisto, como encarnación final del fuego material. Mas No existe una sustancia tal como

el flogisto, como tampoco existe el principio llamado vital, porque el fuego no es material, como tampoco lo es la vida. El fuego es un proceso de transformación y de cambio, mediante el cual los elementos se vuelven a unir en nuevas combinaciones. La naturaleza de los procesos químicos no fue comprendida sino cuando el fuego mismo fue comprendido como un proceso.

La acción de Paracelso clamaba: «La ciencia no puede mirar hacia el pasado. Jamás existió una época áurea». Y habrían de transcurrir otros doscientos cincuenta años para descubrir un nuevo elemento, el oxígeno, que explicaba finalmente la naturaleza del fuego y liberaba a la química de las ataduras de la Edad Media. Lo más curioso del caso es que el hombre que realizó el descubrimiento, Joseph Priestley, no estaba estudiando la naturaleza del fuego, sino otro de los elementos griegos, el invisible y omnipresente aire.

En el Smithsonian Institute de Washington, D. C.; se encuentra lo que aún subsiste del laboratorio de Joseph Priestley. Y, evidentemente, no tiene por que estar allí, debería estar en Birmingham, Inglaterra, centro de la Revolución Industrial, donde Priestley realizara lo mejor de su obra. ¿Por qué se encuentra allí? Porque una multitud obligó a Priestley a salir de Birmingham en 1791.

La historia de Priestley es representativa de otro conflicto entre originalidad y tradición. En 1761 fue invitado, a la edad de veintiocho, a enseñar lenguas modernas en una de las academias disidentes (él era unitario), las cuales sustituían a las universidades para aquellos no conformes con la Iglesia de Inglaterra. Un año después, Priestley fue inspirado por las conferencias científicas de un profesor colega suyo a iniciar un libro sobre la electricidad; y a seguido giró hacia los experimentos químicos. Fue también estimulado por la revolución norteamericana, le había animado Benjamín Franklin, y después por la revolución francesa. Y así, en el segundo aniversario de la toma de la Bastilla, los ciudadanos leales quemaron lo que Priestley había descrito como uno de los laboratorios mejor equipados del mundo. Emigró a Norteamérica, pero no fue bien recibido. Fue apreciado únicamente por los intelectuales de su talla; cuando Tomás Jefferson se convirtió en presidente, declaró a Joseph Priestley: «Es la vuestra una de las pocas vidas preciosas para el género humano».

Me gustaría poder afirmar que la turba que destruyó la casa de Priestley en Birmingham acabó también con los sueños de un hombre delicado, amable, encantador. Mas dudo que ésta sea su descripción justa. Dudo que Priestley fuese un hombre muy amable, no más que Paracelso. Sospecho que era un hombre bastante difícil, frío, avieso, afectado, remilgado y puritano. Pero el ascenso del hombre no es realizado por personas encantadoras. Es realizado por gente dotada de dos cualidades: una integridad enorme y, cuando menos, un poco de genio. Priestley tenía las dos.

Priestley descubrió que el aire no constituye una sustancia elemental: que está compuesto de varios gases y que, entre ellos, el oxígeno – que él llamó «aire desflogisticado» – es el esencial para la vida animal. Priestley era un notable experimentador, y avanzaba cuidadosamente por etapas. El 1 de agosto de 1774 produjo un poco de oxígeno y vio con asombro que una vela ardía perfectamente en presencia de éste. En octubre del mismo año se marchó a París donde comunico su hallazgo a Lavoisier y a otros. Pero no fue sino a su regreso el 8 de marzo de 1775, cuando metió un ratón en presencia de oxígeno, que se dio cuenta de lo bien que se podía respirar en esa atmósfera. Uno o dos días después, Priestley escribió en una bella carta a Franklin: «Hasta ahora, sólo dos ratones y yo hemos tenido el privilegio de respirarlo».

Priestley descubrió también que las plantas verdes espiran oxígeno a la luz del sol, estableciendo así la base de la respiración animal. En los cien años siguientes se demostró que esto era esencial; los animales no habrían evolucionado en absoluto de no ser por el oxígeno producido por las plantas. Pero en los años 1770 nadie había pensado en ello.

El descubrimiento del oxígeno cobró sentido merced a la mente clara y revolucionaria de Antoine Lavoisier (quien pereció durante la revolución francesa). Lavoisier repitió el experimento de Priestley que es casi una caricatura de uno de los experimentos clásicos de la alquimia que describí al principio de éste ensayo (pag. 49). Ambos calentaron el óxido rojo del

mercurio, utilizando para ello una lupa (instrumento muy de boga en la época) en un recipiente en que se podía observar la producción del gas y acumularlo. Este gas era oxígeno. Esto fue el experimento cualitativo; pero para Lavoisier era el indicio inmediato de que la descomposición química podía ser cuantificada.

La idea era sencilla y radical; efectuar la experiencia alquímica en ambas direcciones y medir con exactitud las cantidades que se intercambiasen. Primero, hacia adelante: quemar el mercurio (para que absorba oxígeno) y medir la cantidad exacta de oxígeno que se desprenda de un recipiente cerrado entre el principio y el fin de la combustión. Invirtamos ahora el proceso; tomemos el óxido de mercurio obtenido y calentémoslo intensamente hasta expulsar de nuevo el oxígeno. El mercurio queda, el oxígeno fluye al recipiente, y la pregunta crucial es: «¿Qué cantidad?». Exactamente la misma cantidad que se utilizó en el experimento anterior. Repentinamente el proceso se convierte en algo material, en un acoplamiento y desacoplamiento de cantidades fijas de dos sustancias. Esencias, principios, flogisto, han desaparecido. Dos elementos concretos, mercurio y oxígeno, han sido unidos visible y demostrablemente y se han vuelto a separar.

Parece imposible que podamos hacer un recorrido a través de los procesos de los obreros primitivos y de las especulaciones mágicas de los alquimistas, hasta la idea más poderosa de la ciencia moderna: la idea de los átomos. Empero, la ruta es directa. Sólo queda un paso entre la noción de los elementos químicos que Lavoisier cuantificó y su expresión en términos atómicos por el hijo de un tejedor de Cumberland, John Dalton.



Figura 20. “Sabes que ningún hombre puede dividir el átomo.”
Retrato de Jon Dalton.

Después del fuego, del azufre, de la combustión del mercurio, era inevitable que el clímax de la historia se desarrollara en la fría y húmeda Manchester. Aquí, entre 1803 y 1808, un maestro de escuela cuáquero llamado John Dalton cambió repentinamente el vago concepto de la combinación química, brillantemente inspirado en Lavoisier, en el concepto moderno y preciso de la teoría atómica. Fue una época de descubrimientos maravillosos en química: en aquellos cinco años fueron descubiertos diez elementos nuevos; y no obstante, Dalton no estaba interesado en nada de ella. A decir verdad, se trataba de un hombre de bastante poco colorido. (Padecía con certeza de la ceguera del color, y el defecto genético de confundir el rojo con el verde que describió en sí mismo se conocería posteriormente como «daltonismo».)

Era Dalton un hombre de hábitos regulares, que todos los jueves por la tarde se dirigía al campo a jugar a los bolos. Su principal interés residía en las cosas del campo, cosas que todavía son características del paisaje de Manchester: el agua, el gas de los pantanos, el

anhídrido carbónico. Dalton se formulaba preguntas concretas acerca de la forma en que estos se combinan en función de su peso. ¿Por qué en el agua, compuesta de oxígeno e hidrógeno, se unen siempre las mismas proporciones de estos para producir una determinada cantidad de agua? ¿Por qué cuando se produce anhídrido carbónico, por qué cuando se produce metano, persisten estas constantes de peso?

Durante todo el verano de 1803, Dalton trabajó en esta cuestión. Escribió: «Una investigación de los pesos relativos de las partículas fundamentales es, hasta donde tengo conocimiento, enteramente nueva. Me he dedicado recientemente a esta investigación con un éxito notable». Y así, acabaría por convencerse de que la respuesta debía estar efectivamente en la anticuada teoría atómica de los griegos. Pero el átomo no es una mera abstracción; a escala física posee un peso que caracteriza a tal o cual elemento. Los átomos de un elemento (Dalton los denominó «partículas fundamentales o elementales») son todos iguales y diferentes de los átomos de otro elemento; y una manera en la que se corrobora la diferencia entre ellos es físicamente, es decir, en su diferencia de peso. «Sospecho que existe un número considerable de lo que correctamente podríamos llamar partículas *elementales*, que nunca podrán *metamorfosearse* entre sí»

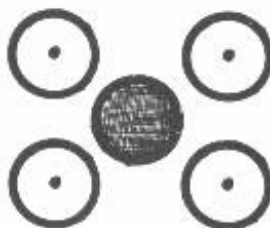
En 1805, Dalton publicó por vez primera su concepción de la teoría atómica, que decía a la letra: Si una cantidad mínima de carbón, un átomo, se combina para crear anhídrido carbónico, lo hará invariablemente con una cantidad prescrita de oxígeno: dos átomos de oxígeno.



Ahora bien, si se compone agua de los dos átomos de oxígeno, cada cual combinado con la suficiente cantidad de hidrógeno, habrá una molécula de agua de un átomo de oxígeno, y una molécula de agua del otro.



Los pesos son correctos: el peso del oxígeno que produce una unidad de anhídrido carbónico producirá dos unidades de agua. ¿Están los pesos correctos ahora para un compuesto carente de oxígeno, para el metano, en el cual el carbón se combina directamente con el hidrógeno? Así es, exactamente. Si se retiran los dos átomos de oxígeno de la única molécula del anhídrido carbónico y de las dos moléculas de agua, tendremos que el balance material es preciso: hemos obtenido las cantidades correctas de hidrógeno y carbón para producir el metano.



Las cantidades pesadas de los diferentes elementos que se combinan entre sí expresan, por su constancia, un esquema subyacente de combinación entre sus átomos.

Es la aritmética exacta de los átomos la que hace de la teoría química el fundamento de la teoría atómica moderna. Esta es la primera lección profunda que surge de esta multitud de especulaciones acerca del oro, el cobre y la alquimia, hasta alcanzar su apogeo con Dalton.

La estructura oculta

La otra lección es su concepto sobre el método científico. Dalton era un hombre de hábitos regulares. Durante cincuenta y siete años dio un paseo diario por las afueras de Manchester: solía medir la lluvia, la temperatura: una empresa singularmente monótona en este clima. No obtuvo nada de ese conjunto de datos. Mas de una sencilla pregunta aguda, casi infantil, sobre los pesos que intervienen en la construcción de estas moléculas simples surgió la teoría atómica moderna. Es ésta la esencia de la ciencia: formula una pregunta impertinente y estarás camino de la respuesta pertinente.

5 LA MUSICA DE LAS ESFERAS

La matemática es, en muchos sentidos, la más elaborada y compleja de las ciencias, o al menos eso considero yo como matemático. Es por eso que para mí es tanto un placer especial como una obligación el describir el progreso de la matemática, ya que ha sido parte de tanta especulación humana: una escala para lo místico así como para el pensamiento racional en el ascenso intelectual del hombre. Sin embargo, hay algunos conceptos que toda historia de la matemática debe incluir: la idea lógica de la prueba, la idea empírica de las leyes exactas de la naturaleza (del espacio, particularmente), la aparición del concepto de operaciones y el avance de la matemática desde la descripción estática de la naturaleza hasta la dinámica. Estos forman el tema de este capítulo.

Aún los pueblos más primitivos tienen un sistema numérico; tal vez no puedan contar mucho más allá del cuatro, pero saben que dos cosas iguales más otras dos de la misma especie son cuatro, y no sólo algunas veces, sino siempre. A partir de este paso fundamental, muchas culturas han construido sus propios sistemas de numeración, generalmente como lenguaje escrito con signos convencionales similares. Los babilonios, los mayas y los hindúes, por ejemplo, inventaron esencialmente el mismo sistema para escribir las cifras grandes como una secuencia de dígitos que usamos ahora, pese a que estas culturas estaban tan distantes entre sí en el tiempo y en el espacio.

Así, pues, no existe un lugar o momento en la historia del cual pueda yo afirmar: «La aritmética empieza aquí, ahora». El hacer cuentas, igual que el hablar, es común a los pueblos de todas las culturas. La aritmética, como el lenguaje, se origina en leyendas: pero la matemática tal como la entendemos, o sea: un razonamiento con números, es otra cosa. La búsqueda de su origen, en los albores de la leyenda y de la historia, fue lo que me hizo navegar hacia la isla de Samos.

En tiempos legendarios, Samos fue un centro griego de adoración a Hera, reina del cielo, legítima (y celosa) mujer de Zeus. Los restos de su templo, el Heraion, datan del siglo VI a. de C. En aquellos tiempos, hacia el año 580 a. de C. nació en Samos el primer genio y fundador de la matemática griega, Pitágoras. Durante su época, el tirano Polícrates se apoderó de la isla. Cuenta la tradición que, antes de escapar, Pitágoras enseñaba escondido en una pequeña cueva blanca en las montañas, la cual es todavía mostrada a los crédulos.

Samos es una isla mágica. El aire está impregnado de mar, árboles y música. Otras islas griegas podrían servir de escenario a *La tempestad*: pero para mí ésta es la isla de Próspero, la playa donde el intelectual se convirtiera en mago. Acaso Pitágoras fuese una especie de mago para sus seguidores, debido a que les enseñaba que la naturaleza está regida por números. Existe una armonía en la naturaleza, decía, una unidad en su variedad, y tiene un lenguaje: los números son el lenguaje de la naturaleza.

Pitágoras encontró una relación básica entre la armonía musical y la matemática. La historia de su descubrimiento persiste sólo en forma desordenada, como cuento popular. Pero lo que descubrió era exacto. Una sola cuerda tensa, vibrando como un todo, produce una nota grave. Las notas con sonido armónico se producen en la cuerda al dividirla en un número preciso de segmentos: exactamente en dos partes, exactamente en tres partes, en cuatro partes iguales. y así sucesivamente. Si el punto fijo de la cuerda, el nodo, no está en uno de estos puntos precisos, el sonido es discordante.

Cuando movemos el nodo a lo largo de la cuerda, reconocemos las notas armónicas al llegar a

los puntos antes descritos. Empecemos con toda la cuerda: esto es la nota grave. Movamos el nodo a la mitad: obtendremos la octava superior. Si movemos el nodo a un tercio de la distancia obtendremos la quinta superior. Al moverlo a la cuarta parte de la cuerda obtenemos la cuarta, es decir, otra octava superior. Y si movemos el nodo a una quinta parte de la cuerda obtendremos la tercera mayor alta, que Pitágoras no llegó a obtener.

Pitágoras descubrió que los acordes que suenan agradables al oído – al oído occidental – corresponden a divisiones exactas de la cuerda entre números enteros. Para los pitagóricos, este descubrimiento tenía una fuerza mística. Las relaciones entre la naturaleza y los números eran un coherentes, que los persuadieron de que no únicamente los sonidos de la naturaleza, sino todas sus dimensiones características, debían de ser simples números que expresaban armonías. Por ejemplo, Pitágoras o sus discípulos creían que se podrían calcular las órbitas de los cuerpos celestes (que los griegos representaban como esferas de cristal alrededor de la Tierra) relacionándolos con los intervalos musicales. Creían que el orden prevaleciente en la naturaleza es musical; los movimientos en los cielos eran, para ellos, la música de las esferas.

Estas ideas dieron a Pitágoras la categoría de profeta en filosofía, casi un líder religioso, y sus seguidores formaron una sociedad secreta y quizás revolucionaria. Es probable que muchos de sus últimos seguidores fueran esclavos; creían en la transmigración de las almas, lo que pudo haber constituido su manera de anhelar una vida más feliz después de la muerte.

Me he estado refiriendo al lenguaje de los números, o sea: a la aritmética, aunque en mi último ejemplo hablaba de las esferas celestes, que son formas geométricas. La transición no es fortuita. La naturaleza nos presenta formas: una onda, un cristal, el cuerpo humano, y somos nosotros quienes debemos intuir y encontrar en ellos las relaciones numéricas. Pitágoras fue un pionero en enlazar la geometría con los números, y puesto que ésta es también mi tema de elección entre las ramas de la matemática, es conveniente analizar lo que él realizó.

Pitágoras probó que el mundo de los sonidos está gobernado por números exactos y que esto también es valedero para el mundo visual. Esto es un logro extraordinario. Miro alrededor y aquí me encuentro en este maravilloso y colorido paisaje de Grecia, entre sus formas silvestres naturales, sus valles órficos, el mar. ¿Dónde, bajo este bello caos, puede subyacer una simple estructura numérica?

La pregunta nos retrotrae a las constantes más primitivas de nuestra percepción de las leyes naturales. Para responder correctamente, está claro que debemos partir de experiencias universales. Nuestro mundo visual está basado en dos experiencias: que la gravedad es vertical y que el horizonte forma un ángulo recto con ella. Y es esta conjunción, estos hilos cruzados en el campo visual, le que define la naturaleza del ángulo recto; de modo que si yo giro este ángulo de experiencia (la dirección «hacia abajo» y la dirección «hacia los lados» cuatro veces, regreso al cruce de la gravedad con el horizonte. El ángulo recto se define por esta operación cuádruple que lo distingue de cualquier otro ángulo arbitrario.

Luego en el mundo de la visión, en la imagen vertical plana que nuestros ojos nos presentan, un ángulo recto se define por su cuádruple rotación sobre sí mismo. La misma definición se aplica también al mundo horizontal de experiencias, en el cual, de hecho, nos movemos. Consideremos ese mundo, el mundo de la Tierra plana y del mapa y de los puntos de la brújula. Heme aquí mirando los Estrechos de Samos y Asia Menor, hacia el sur. Utilizo una baldosa triangular como indicador y la ubico también hacia el sur. (He dado al indicador la forma de un triángulo rectángulo con el fin de poner sus cuatro rotaciones lado a lado.) Si giro la baldosa triangular en ángulo recto, apuntará hacia el oeste. Si la giro en un segundo ángulo recto, apuntará al norte. Y si después la hago girar en un tercer ángulo recto, apuntará al este. Y, finalmente, el cuarto giro la hará apuntar de nuevo hacia el sur, o sea: en la dirección de Asia Menor, en la dirección de la cual partimos.

No sólo el mundo natural sino el mundo que estamos construyendo se basa en esa relación. Ha sido así desde la época en que los babilonios construyeran los Jardines Colgantes, e incluso

antes, desde la época en que los egipcios construyeron las pirámides. Estas culturas sabían ya de un modo práctico que hay una escuadra del constructor en la que las relaciones numéricas dictan y crean el ángulo recto. Los babilonios conocían muchas, tal vez miles de fórmulas sobre este particular, hacia el año 2000 a. de C. Los hindúes y los egipcios conocían algunas. Los egipcios, según parece, usaron siempre un juego de escuadra con los lados del triángulo hecho de dos, tres, cuatro o cinco unidades. No fue sino hasta 500 a. de C., más o menos, que Pitágoras deslindó este conocimiento del mundo de los hechos empíricos para encauzarlo en lo que hoy llamaríamos el mundo de las pruebas. Es decir, se formuló esta pregunta: «¿Cómo surgen los números que conforman el triángulo del constructor del hecho de que al girar un ángulo recto cuatro veces señale al mismo lugar?».

Su prueba, según creemos, funcionó así. (No es la prueba que aparece en los libros escolares.) Los cuatro puntos principales – sur, oeste, norte y este – de los triángulos que forman el cruce del compás, son las esquinas de un cuadrado. Muevo los cuatro triángulos de forma tal que el lado más grande de cada uno termina en el punto principal de su vecino. He construido un cuadrado cuyos lados son los más largos de cada triángulo rectángulo, la hipotenusa. Únicamente con el objeto de saber qué forma parte del área comprendida y qué no, voy a colocar un azulejo adicional en la pequeña área cuadrada interior, hasta ahora vacía. (Utilizo azulejos porque muchos de sus diseños, en Roma y en el Oriente, se derivan, a partir de entonces, de esta especie de matrimonio entre la relación matemática y los conceptos de la naturaleza.)

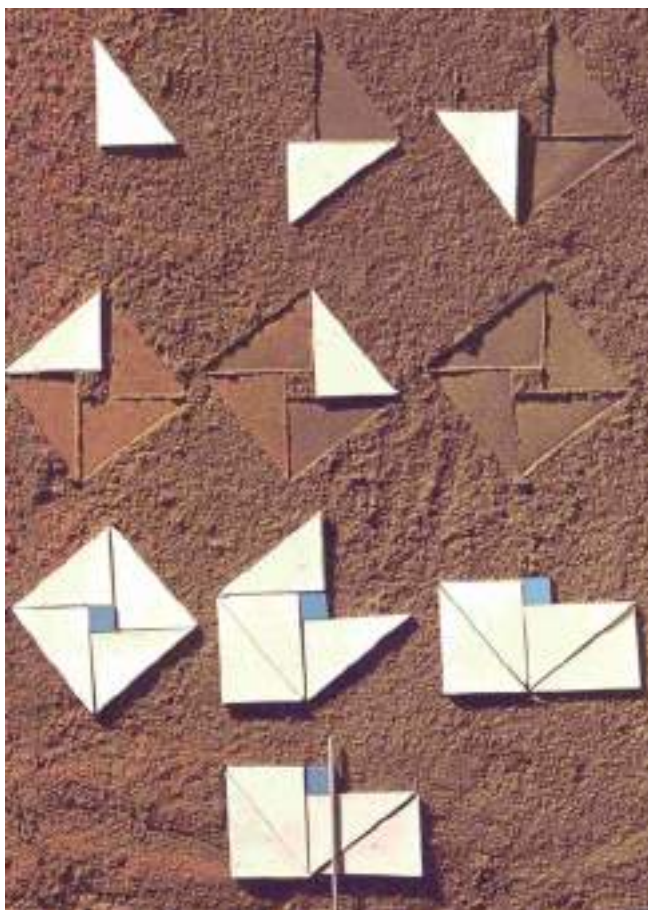


Figura 21. Pitágoras deslindó este conocimiento del mundo de los hechos empíricos, para encauzarlo en lo que hoy llamaríamos el mundo de las pruebas.

La prueba pitagórica descrita en el texto, en que, un triángulo rectángulo, el cuadrado de la hipotenusa es igual a la suma de los cuadrados de los catetos.

Tenemos ahora un cuadrado formado por la hipotenusa y podemos, mediante cálculos, relacionar éste con los cuadrados de los dos lados más pequeños. Pero así se perdería de vista la estructura natural y la interiorización esencial de la figura. No hay necesidad de calcular. Un juego sencillo que los niños y los matemáticos practican demostrará aún mis. Transpongamos dos triángulos a posiciones nuevas. Movamos el triángulo que señalaba hacia el sur de modo que su lado más largo esté junto al lado más largo del triángulo que señalaba hacia el norte. Y movamos el triángulo que señalaba hacia el este de modo que su lado más largo esté junto al lado más largo del triángulo que señalaba hacia el oeste.

Así habremos construido una figura en forma de L de área igual (claro, porque está formada de las mismas piezas), cuyos lados percibimos en términos de los lados más pequeños de los triángulos rectángulos. Para aclarar visualmente la composición de esta figura en forma de L, la dividimos con una raya, separando la parte vertical de la horizontal. Queda entonces claro que ésta un cuadrado formado por los lados más cortos del triángulo; y que aquélla es un cuadrado basado en el más largo de los dos lados que forman el ángulo recto.

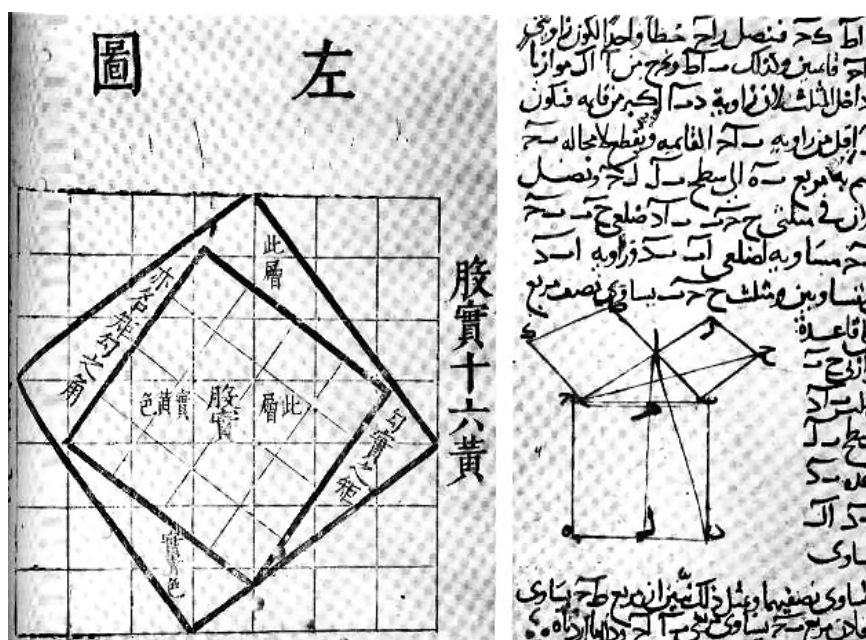


Figura 22. Pitágoras demostró así un teorema general: no sólo para el triángulo egipcio de proporciones 3:4:5, o cualquier triángulo babilónico, sino para todo triángulo que contenga un ángulo recto.

Página de una versión árabe de 1285 d. de C., y un impreso chino del teorema, asociado en la historia china con Chou Pei, contemporáneo de Pitágoras.

Pitágoras demostró así un teorema general: no sólo para el triángulo egipcio de proporciones 3:4:5, o cualquier triángulo babilónico, sino para todo triángulo que contenga un ángulo recto. Demostró que el cuadrado de la hipotenusa es igual a la suma del cuadrado de los catetos. Por ejemplo, los lados tres, cuatro y cinco forman un ángulo recto porque

$$\begin{aligned} 5^2 &= 5 \times 5 = 25 \\ &= 16 + 9 = 4 \times 4 + 3 \times 3 \\ &= 4^2 + 3^2 \end{aligned}$$

Y lo mismo es cierto para los lados de los triángulos encontrados por los Babilonios, sean los simples como 8:15:17 o los más formidables como 3367:3456:4825, lo cual no deja lugar a

duda de que eran hábiles para la aritmética.

Hasta hoy, el teorema de Pitágoras sigue siendo el teorema individual más importante de toda la matemática. Parece extraordinario decirlo, pero no es una extravagancia; porque lo que estableció Pitágoras es una caracterización fundamental del espacio en que nos movemos, traducido por primera vez a números. Y el ajuste exacto de los números describe las leyes exactas que regulan el universo. En efecto, los números que componen los triángulos rectángulos han sido propuestos como posibles mensajes a otros planetas, en búsqueda de prueba de la existencia de vida racional en éstos.

El caso es que el teorema de Pitágoras, en la forma en que lo he demostrado. Es una elucidación de la simetría del espacio plano; el ángulo recto es el elemento de simetría que divide el plano en cuatro. Si el espacio plano tuviese un tipo de simetría diferente, el teorema no sería válido; sería válida alguna otra relación entre los lados de triángulos especiales. Y el espacio es una parte tan crucial de la naturaleza como lo es la materia, pese a que (al igual que el aire), es invisible; esto constituye el meollo de la ciencia geométrica, la simetría no es sólo una sutileza descriptiva; como otras ideas de Pitágoras, penetra en la armonía de la naturaleza.

Cuando Pitágoras demostró el gran teorema, ofreció cien bueyes a las musas, agradeciendo la inspiración. Es un gesto de orgullo y humildad a la vez, que todo científico siente aún en nuestros días cuando los números se ajustan y dicen: «Esto es parte de la llave de la estructura de la naturaleza misma».

Pitágoras era filósofo y algo así como una figura religiosa para sus discípulos. El hecho es que había en él algo de esa influencia asiática que dejó su huella en toda la cultura griega y que solemos dejar de lado. Pensamos en Grecia como parte de Occidente; pero Samos el límite de la Grecia Clásica, está situada a kilómetro y medio de la costa de Asia Menor. Esta fue la fuente de gran parte del pensamiento que inspiró a Grecia y que pasó de nuevo a Asia en los siglos posteriores antes de llegar a Europa occidental.

El conocimiento hace prodigiosos viajes y lo que nos puede parecer un salto en un instante de tiempo resulta ser una larga progresión de lugar en lugar, de una ciudad a otra. Las caravanas llevan junto con mercancías los métodos de comercio de sus países de origen: las pesas y medidas, los sistemas de cálculo, y tanto técnicas como ideas viajaron con ellos por Asia y el norte de África. Como un ejemplo entre muchos, la matemática de Pitágoras no nos llegó en forma directa. Inspiró la imaginación de los griegos; pero fue en Alejandría, la ciudad del Nilo, donde la ordenaron sistemáticamente. El hombre que creó el sistema y lo hizo famoso fue Euclides, y probablemente la llevó a Alejandría en el año 300 a. de C.

Evidentemente, Euclides pertenecía a la tradición pitagórica. Cuando un oyente le preguntó cuál era el uso práctico de algún teorema, se dice que Euclides dijo desdeñosamente a su esclavo: «El quiere lucrarse del conocimiento, dale una moneda». La reprobación estaba quizás inspirada en el proverbio de la hermandad pitagórica, que traducido se aproxima a: «Un diagrama y mi paso; no un diagrama y una moneda», siendo «un paso» un paso en el conocimiento, o lo que yo he denominado el ascenso del hombre.

El impacto de Euclides como modelo de razonamiento matemático fue inmenso e imperecedero. Su libro *Elementos de geometría* ha sido traducido y copiado hasta nuestros tiempos más que cualquier otro libro a excepción de la Biblia. Aprendí matemática con un profesor que citaba textualmente los teoremas de la geometría usando los números que Euclides les había asignado cosa que era muy común hace 50 años y, en el pasado, el sistema estándar de referencia. Cuando, hacia 1680, John Aubrey escribió un tratado sobre cómo Thomas Hobbes en su edad madura «se enamoró de la geometría» y, por tanto, de la filosofía, explicó que todo empezó cuando Hobbes vio en la «biblioteca de un caballero» un ejemplar de los *Elementos* de Euclides, abierto en 47 *Element libri I*. La proposición 47 del Libro I de los *Elementos* de Euclides es el famoso teorema de Pitágoras.

La otra ciencia practicada en Alejandría en época cercana al nacimiento de Cristo era la astronomía. De nuevo percibimos el flujo de la historia en la resaca de la leyenda: cuando la Biblia nos dice que tres hombres sabios siguieron una estrella hasta Belén, nos parece oír el eco de una época en que los sabios se dedicaban a observar las estrellas. El secreto de los cielos que los sabios buscaban en la antigüedad fue interpretado por un griego llamado Claudio Ptolomeo, que trabajaba en Alejandría hacia el año 150 d. de C. Su trabajo llegó a Europa a través de textos árabigos, pues las ediciones originales griegas se perdieron en gran parte, algunas en el saqueo de la gran biblioteca de Alejandría cometido por fanáticos cristianos en el año 389 d. de C., otras en las guerras e invasiones que asolaron el Mediterráneo oriental durante las Edades Bárbaras.

El modelo de los ciclos que Ptolomeo construyó es maravillosamente complejo, pero parte de una analogía simple. La Luna gira alrededor de La Tierra, evidentemente, y a Ptolomeo le pareció igualmente evidente que los planetas y el Sol hacían lo mismo. (Los antiguos pensaban que la Luna y el Sol eran planetas.) Los griegos creían que el círculo era la forma perfecta del movimiento, y así Ptolomeo situaba a los planetas girando en círculo, o por círculos girando a su vez en otros círculos. A nosotros nos puede parecer esto simple y artificial; sin embargo, el sistema fue una invención muy hermosa y práctica y sirvió como artículo de fe para árabes y cristianos hasta finales de la Edad Media. Duró 1400 años, mucho más de lo que una teoría científica reciente puede esperar sobrevivir sin cambio radical.

Es pertinente reflexionar ahora sobre por qué la astronomía se desarrolló tan temprano y tan elaboradamente y se convirtió en el arquetipo de las ciencias físicas. Por sí mismas, las estrellas son objetos naturales que no deberían despertar la curiosidad humana. El cuerpo humano debería ser mejor candidato para este primer interés sistemático. ¿Por qué entonces la astronomía avanzó como ciencia antes que la medicina? ¿Por qué miraba la medicina a las estrellas por presagios para predecir las influencias favorables y adversas que compiten por la vida de un paciente, cuando el recurrir a la astrología refleja, sin duda, la abdicación de la medicina como ciencia? Desde mi punto de vista, la principal razón es que los movimientos observados en las estrellas se podían calcular, y desde tiempos remotos (quizás 3000 años a. de C. en Babilonia) se prestaban a la matemática. La importancia de la astronomía reside en la peculiaridad de que puede ser tratada matemáticamente; y el progreso de la física, y más recientemente de la biología, también ha dependido del descubrimiento de formulaciones de sus leyes que pueden ser escritas como modelos matemáticos.

De vez en cuando, la propagación de ideas exige un nuevo impulso. El advenimiento del Islam en el año 600 d. de C. constituyó este nuevo y poderoso impulso. Empezó como un acontecimiento local de resultados imprevisibles; pero una vez que Mahoma conquista la Meca en el año 630 d. de C. el Islam tomó por asalto el mundo oriental. En cien años conquistó Alejandría, estableció un fabuloso centro de estudios en Bagdad y amplió sus fronteras por el este más allá de Isbajam, en Persia. Por el año 730 d. de C. el imperio musulmán se extendió desde España y el sur de Francia hasta las fronteras de China y la India: un imperio de espectacular fuerza y cultura, mientras Europa caía paulatinamente en el oscurantismo.

Bajo esta religión proselitista, la ciencia de las naciones conquistadas fue absorbida con gusto cleptomaníaco. Al mismo tiempo, hubo un surgimiento de habilidades locales sencillas que habían sido despreciadas. Por ejemplo, fueron construidas las primeras mezquitas con cúpula, empleando como instrumento único la antigua escuadra que aún se usa en nuestros días. La mezquita de Masjid-i-Jomi en Isbajam (la mezquita de viernes) es uno de los monumentos más impresionantes de los comienzos del Islam. Fue en centros como éste que los conocimientos de Grecia y el Oriente fueron acumulados, absorbidos y diversificados.

Mahoma había dicho que el Islam no iba a ser una religión de milagros; su contenido intelectual se hizo un modelo de contemplación y de análisis. Los escribas mahometanos despersonalizaron y formalizaron la imagen de la divinidad: el misticismo del Islam no es sangre y vino, carne y pan, sino un éxtasis sobrenatural.

Alá es la luz de los cielos y de la tierra. Su luz puede ser comparada con la de un nicho que resguarda una lámpara, la lámpara dentro de un cristal brillante como las estrellas, luz sobre luz en los templos que Alá determinó que se construyeran para recordar su nombre es alabado al amanecer y al atardecer por hombres a quienes ni el comercio ni el lucro pueden hacerles olvidarlo.

Una de las invenciones griegas que el Islam perfeccionó y difundió fue el astrolabio. Como instrumento de observación es muy primitivo, pues solamente puede medir la altura del Sol o de una estrella, y eso inexactamente. Pero uniendo estas observaciones con uno o más mapas astronómicos, el astrolabio permitía al viajero desarrollar un esquema elaborado de cálculo para determinar las latitudes, el amanecer y el atardecer, la hora de los rezos y la dirección de la Meca al viajero. En adición al mapa astronómico, el astrolabio estaba adornado con detalles astrológicos y religiosos, para comodidad mística.

Por mucho tiempo, el astrolabio fue el reloj de bolsillo y la regla de cálculo del mundo. En 1391, cuando el poeta Geoffiey Chaucer escribió un texto para enseñar a su hijo a usar el astrolabio, lo copió de un astrónomo árabe del siglo VIII.

Hacer cálculos era un goce sin fin para los eruditos moros. Les gustaban los problemas, disfrutaban hallando métodos ingeniosos para resolverlos; a veces convirtieron sus métodos en instrumentos mecánicos. La computadora astronómica era un instrumento de cálculo más elaborado que el astrolabio; algo así como un calendario automático, hecho en el califato de Bagdad en el siglo XIII. Los cálculos que puede efectuar no son profundos: una alineación de cuadrantes para hacer pronósticos, pero es testimonio de la destreza mecánica de aquellos que lo hicieron hace setecientos años y de su pasión por jugar con números,

La innovación más importante realizada por los ansiosos, inquisitivos y tolerantes sabios árabes, fue la escritura de los números. Las anotaciones numéricas de los europeos eran todavía entonces del tosco estilo romano, en el que el número se constituye de la agregación de sus partes. Por ejemplo 1825 se escribe MDCCCXXV, debido a que es la suma de M=1000, D=500, C+C+C=100+100+100, XX=10+10 y V=5. El Islam cambió esto por el moderno sistema decimal que todavía llamamos arábigo. En la nota al margen de un manuscrito árabe (abajo), los números de la fila de arriba son 18 y 25. Reconocemos inmediatamente el 1 y el 2 por ser nuestros propios símbolos (aunque el 2 está colocado de punta). Para escribir 1825, los cuatro símbolos se acomodan sencillamente, en orden seguido como un sólo número; puesto que es el espacio que ocupa cada uno de los símbolos el que anuncia si representa millares, centenas, decenas o unidades.



Figura 23. Al principio del manuscrito ilustrado, se muestran los dígitos 1 al 9. Estos se leen de izquierda a derecha.

٩ ٨ ٧ ٦ ٥ ٤ ٣ ٢ ١

Empero, un sistema que describe magnitudes por ubicación debe ofrecer la posibilidad del espacio vacío. La anotación árabe requería de la invención del 0. El símbolo para el cero aparece dos veces en esta página y varias más en las páginas siguientes, siendo igual al nuestro. Las palabras *cero* y *cifra* son árabes, como también las palabras *álgebra*, *almanaque*, *cenit* y

una docena más usadas tanto en matemática como en astronomía. Los árabes trajeron de la India el sistema decimal cerca del año 750 d. de C., pero no arraigó en Europa sino hasta quinientos años después.

Probablemente fue el enorme tamaño del imperio morisco lo que hizo que se conviniera en una especie de bazar del conocimiento, cuyos eruditos incluían cristianos heréticos en el oriente y judíos infieles en el occidente. Pero fue una cualidad del Islam, como religión, que aunque propugnaba la conversión de la gente, no desdeñaba sus conocimientos. En el oriente su monumento es la ciudad persa de Isbajam. En el occidente sobrevive otro notable lugar: la Alhambra, en el sur de España.

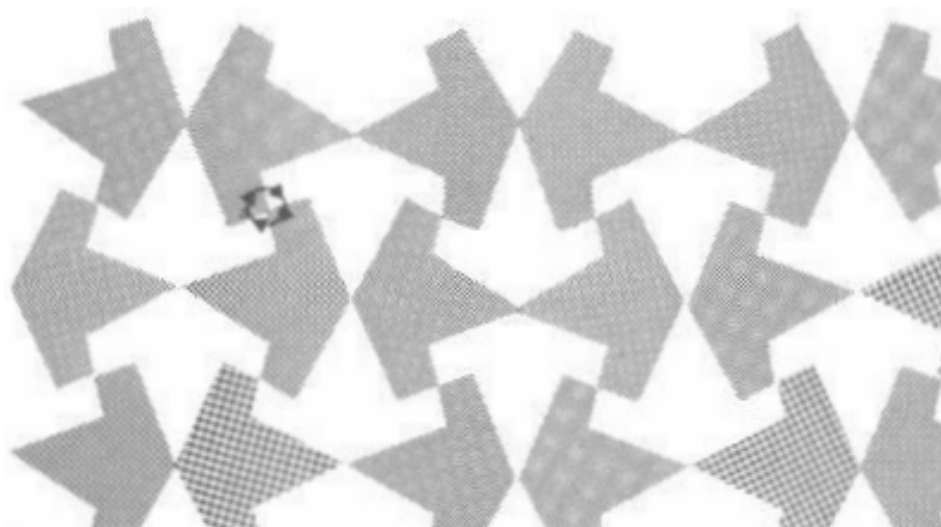
Vista desde fuera, la Alhambra es una fortaleza cuadrada y escueta que no muestra el estilo árabe; pero por dentro no es una fortaleza sino un palacio, un palacio diseñado deliberadamente para plasmar en la tierra los deleites del cielo. La Alhambra es una construcción tardía. Tiene la lasitud de un imperio más allá de su apogeo, ya no aventurero, y confiado en su seguridad. La religión de la meditación se ha vuelto sensual y autosatisfecha. Resuena con la música del agua, cuyo ritmo sinuoso se percibe en todas las melodías árabes, aunque éstas están basadas en la escala pitagórica. Cada atrio es recuerdo y eco de un sueño a través del cual el sultán flotaba (porque no caminaba, pues era llevado en andas). La Alhambra es lo más aproximado a la descripción del paraíso del Corán.

Bendita será la recompensa para aquellos que trabajen pacientemente y confíen en Alá. Aquellos que abracen la fe verdadera y hagan buenas obras serán hospedados para siempre en las mansiones del Paraíso donde hermosos ríos correrán bajo sus pies... y serán honrados en los jardines de las delicias, sobre mullidas poltronas, cara a cara. De una fuente se les llevará un cáliz de contenido límpido y delicioso para quienes lo liben... Sus esposas se reclinarán sobre suaves almohadones verdes y hermosas alfombras.

La Alhambra es el último y más exquisito monumento de la civilización árabe en Europa. El último rey moro reinó aquí hasta 1492, cuando la reina Isabel de España apoyaba la aventura de Colón. Es un enjambre de patios y cámaras, y la Sala de las Camas es el lugar más secreto del palacio. Aquí, las mujeres del harén venían después del baño a reclinarsen desnudas. Músicos ciegos tocaban en la galería, mientras los eunucos lo vigilaban todo. El sultán observaba desde arriba y mandaba abajo una manzana para indicar a la mujer de su agrado que pasaría la noche con él.

En una civilización occidental, este salón estaría lleno de maravillosos dibujos de formas femeninas, pinturas eróticas. Aquí no es así. La representación del cuerpo humano estaba prohibida a los mahometanos. Incluso el estudio de la anatomía estaba prohibido y esto representó una gran desventaja para la ciencia musulmana. Por eso encontramos aquí figuras geométricas coloridas pero extraordinariamente simples. El artista y el matemático en la civilización árabe constituían una unidad. Y esto lo afirmo literalmente. Estas figuras representan el alto grado de exploración de los árabes acerca de las sutilezas y simetrías del espacio mismo: el espacio plano bidimensional, que llamamos ahora el plano euclidiano, caracterizado primero por Pitágoras.

Entre la multitud de diseños, empiezo con uno muy sencillo. En él se repiten el motivo de dos hojas oscuras horizontales y el de dos hojas claras verticales. Las simetrías evidentes aquí son traslaciones (es decir, cambios paralelos en el diseño) y reflejos horizontales o verticales. Pero notemos un punto más delicado. Los árabes eran afectos a los diseños en que las partes oscuras del diseño fuesen idénticas a las partes claras. Y así, si por un momento ignoramos los colores, podemos observar que se puede girar una figura oscura en ángulo recto a la posición de la siguiente clara, y después (siempre alrededor del mismo punto) a la siguiente posición y finalmente de nuevo a su posición original. Y la rotación recrea correctamente todo el diseño; cada hoja de éste alcanza la posición de otra hoja, sin importar lo lejos que se encuentren del centro de rotación.



La reflexión en una línea horizontal al igual que la reflexión en una línea vertical constituye una simetría doble del diseño en color. Mas si pasamos por alto los colores, notaremos que existe una simetría cuádruple. Esta se produce mediante la operación de rotación a través de un ángulo recto, cuatro veces repetido, por la cual demostré antes el teorema de Pitágoras; y de ahí que el diseño carente de color se parezca, por su simetría, al cuadrado de Pitágoras.

Cambiamos ahora a un diseño mucho más sutil. Estos triángulos ondulados en cuatro colores forman siempre un mismo tipo de simetría muy sencillo, en dos direcciones. Podemos cambiar el diseño horizontal o verticalmente en nuevas e idénticas posiciones. la forma ondulada no es irrelevante. Es poco común el encontrar un sistema simétrico que no dé cabida a la reflexión. No obstante, éste no es así, porque todos los triángulos son de movimiento diestro y no se podrán reflejar sin convertirlos en siniestros.

Supongamos ahora que desconocemos la diferencia entre el verde, el amarillo, el negro y el azul. y pensamos simplemente en la disparidad entre triángulos oscuros y triángulos claros, entonces habrá también una simetría de rotación. Fijemos de nuevo nuestra atención en un punto de conjunción: se concentran ahí seis triángulos que son alternadamente oscuros y claros. Se puede rotar ahí un triángulo oscuro a la posición del triángulo oscuro siguiente, después a la posición del siguiente, y por fin a su posición original: una simetría triple que hace rotar todo el diseño.



Y, ciertamente, las simetrías posibles no acaban necesariamente aquí. Si nos olvidamos por completo de los colores, entonces se manifiesta una rotación menor merced a la cual podemos mover un triángulo oscuro al espacio del triángulo claro anexo, debido a que su forma es idéntica. Después, esta operación de rotación aparece en el triángulo oscuro, en el claro, en el oscuro, en el claro y vuelve finalmente al triángulo oscuro original: una simetría séxtuplo del espacio que hace rotar todo el diseño. Y la simetría séxtuplo es en realidad la que todos conocemos mejor, porque es la simetría de los copos de nieve.

A estas alturas, el no-matemático se preguntará, «¿Y qué? ¿Es a eso a lo que se refieren los matemáticos? ¿Han dedicado su tiempo a esta especie de juego elegante los profesores árabes y los matemáticos modernos?» Para esto la respuesta inesperada es: Bueno, esto no es un juego. Nos pone cara a cara con algo que es difícil de recordar, y que es que vivimos en un tipo especial de espacio – tridimensional, plano – y las propiedades de tal espacio son inquebrantables. Al preguntarnos cuáles son las operaciones que hacen girar un diseño sobre sí mismo, estamos descubriendo las leyes invisibles que rigen nuestro espacio. Existen sólo algunas clases de simetría que nuestro espacio puede soportar, no únicamente en los diseños producidos por el hombre sino, además, en las regularidades impuestas por la propia naturaleza en sus estructuras atómicas fundamentales.

Las estructuras que virtualmente encierran los diseños naturales del espacio son los cristales. Y cuando observamos alguno que no ha sido tocado por mano humana ninguna – digamos, el espato de Islandia – nos quedamos atónitos al percatarnos de que no hay causa aparente que explique el porqué de la regularidad de sus caras. Ni siquiera resulta explicable el que sus caras sean planas. Así es como se presentan los cristales; estamos acostumbrados a verlos regulares y simétricos; pero, ¿por qué? No fueron hechos así por el hombre sino por la naturaleza. La cara es plana porque fue así que los átomos tuvieron que unirse. La llanura, la regularidad, han sido forzadas por el espacio sobre la materia tan definitivamente como el espacio dio a los diseños moros las simetrías que he analizado.

Tomemos algunos bellos cubos de piritas. O el que para mí es el más exquisito de los cristales, la fluorita, un octaedro (que presenta la misma forma natural del cristal del diamante). Sus simetrías les son impuestas por la naturaleza del espacio en que vivimos: las tres dimensiones, la llanura dentro de la cual vivimos. Y ninguna estructura atómica puede romper esta ley crucial de la naturaleza. Al igual que las unidades que componen un diseño, los átomos de un cristal se encuentran hacinados en todas direcciones. Es así que un cristal, del mismo modo que un diseño, debe poseer una forma que pueda extenderse o repetirse indefinidamente y en todas direcciones. Es por ello que las caras de un cristal presentan únicamente determinadas formas; no pueden tener otras simetrías que las de diseños. Por ejemplo, las únicas rotaciones que les son posibles son de dos a cuatro veces por vuelta completa, o de tres a seis veces... y nada más. Y no cinco veces. No se puede hacer una estructura atómica que forme triángulos que encajen regularmente cinco a la vez en un espacio.

La gran realización de la matemática árabe fue el concebir estas formas de diseño, agotando de un modo práctico las posibilidades de las simetrías del espacio (al menos en dos dimensiones). Y contiene una maravillosa finalidad de mil años de antigüedad. El rey, las mujeres desnudas, los eunucos y los músicos ciegos crearon un bello diseño formal en que la exploración de lo existente era perfecta, pero el cual, por desgracia, no perseguía cambio alguno. No hay nada nuevo en matemática, debido a que tampoco lo hay en el pensamiento humano, hasta que el ascenso del hombre avanzara hacia una dinámica diferente.

El cristianismo empezó a resurgir en el norte de España hacia el año 1000 d. de C., en aldeas como la villa de Santillana, ubicada en una franja costera nunca conquistada por los moros. Es una religión surgida de la tierra, expresada en las imágenes sencillas de la villa, el buey, el asno, el Cordero de Dios. Las imágenes con motivos animales serían inconcebibles en la religión musulmana. Y no sólo se admiten las formas animales; el Hijo de Dios es un niño, su madre es una mujer que es objeto de veneración personal. Cuando la Virgen es llevada en

procesión, nos hallamos ante un universo de visión diferente: no de conceptos abstractos, sino de vida abundante e irreprimible.

Cuando el cristianismo reconquistó España, la emoción de la lucha se hallaba en la frontera. Aquí, moros y cristianos, e incluso judíos, se mezclaron y forjaron una extraordinaria cultura de múltiples credos. En 1085, el centro de esta cultura mixta se fijó por un tiempo en la ciudad de Toledo. Era Toledo el puerto intelectual de acceso a la Europa cristiana para todos los clásicos que los árabes habían traído desde Grecia, desde el Oriente Medio, desde Asia.

Consideramos a Italia como cuna del Renacimiento. Mas la concepción se realizó en España en el siglo XII y se simboliza y expresa por medio de la famosa escuela de traductores de Toledo, donde los textos antiguos pasaron del griego (que Europa había olvidado), a través del árabe y el hebreo, al latín. En Toledo, entre otros avances intelectuales, se formuló un conjunto de tablas astronómicas, una suerte de enciclopedia de las posiciones de las estrellas. Es característico de la ciudad y de la época en que las tablas son cristianas; pero los números son arábigos y ya prácticamente iguales a los modernos.

El más famoso de los traductores, y el más brillante, fue Gerardo de Cremona, que había llegado de Italia con el fin específico de encontrar una copia del libro de astronomía del Ptolomeo, el *Almagest*, y permaneció en Toledo para traducir a Hipócrates, Arquímedes, Galeno, Euclides: los clásicos de la ciencia griega.

Y sin embargo, para mí personalmente, el hombre más notable que fue traducido, y a largo plazo el más influyente, no era griego. Esto se debe a mi interés en la percepción de los objetos en el espacio. Y este es un tema en el cual los griegos estaban totalmente equivocados. Fue entendido por vez primera hacia 1000 d. de C. por un matemático excéntrico, conocido como Alhazén, que fue realmente la única mente científica original producida por la cultura árabe. Los griegos habían creído que la luz parte de los ojos hacia el objeto. Alhazén fue el primero en reconocer que vemos un objeto porque cada uno de sus puntos dirige y refleja un rayo hacia el ojo. El concepto griego no podía explicar cómo un objeto, digamos mi mano, parece cambiar de tamaño cuando se mueve. En el concepto de Alhazén está claro que los rayos en forma de cono que proceden del contorno y de la forma de mi mano se estrechan conforme la aparto de mis ojos. Conforme la aproximo a éstos, el cono de rayos que entra al ojo aumenta y produce un ángulo mayor. Y esto, y sólo esto, explica la diferencia de tamaño. Es una noción tan sencilla que resulta inconcebible que los científicos casi no le prestasen atención (excepción hecha de Roger Bacon) durante seiscientos años. Mas los artistas se ocuparon de ella mucho antes y de un modo práctico. El concepto del cono de rayos desde un objeto al ojo se convierte en el fundamento de la perspectiva. Y la perspectiva es el nuevo concepto que actualmente revivifica la matemática.

El entusiasmo por la perspectiva pasó al arte en el norte de Italia, en Florencia y Venecia, en el siglo XV. En un manuscrito de la *Optica* de Alhazén – una traducción – que se encuentra en la Biblioteca Vaticana de Roma, se encuentran unas anotaciones de Lorenzo Ghiberti, quien realizó las famosas perspectivas de bronce de las puertas del Bautisterio de Florencia. No fue el primer pionero de la perspectiva – que puede haber sido Filippo Brunelleschi –, y eran tantos que llegaron a formar una escuela identificable de la perspectiva. Era una escuela de pensamiento, pues su mira no era simplemente producir figuras que parecieran vivas, sino crear la sensación de su movimiento en el espacio.

El movimiento se hace evidente en cuanto comparamos alguna obra de los perspectivistas con otra anterior. La pintura de Carpaccio con Santa Ursula abandonando un puerto vagamente veneciano, fue realizada en 1495. El efecto obvio es el de proporcionar una tercera dimensión al espacio visual, justamente como el oído de aquella época percibe otra profundidad y otra dimensión en las nuevas armonías de la música europea. Pero el efecto fundamental no es tanto de profundidad como de movimiento. Al igual que la nueva música, la pintura y sus elementos poseen movimiento. Pero sobre todo, se aprecia que el ojo del pintor está en movimiento.

Comparémoslo con un fresco de Florencia pintado un siglo antes, hacia 1350 d. de C. Es una

vista a extramuros de la ciudad, en la que el pintor mira ingenuamente por encima de los muros y los tejados de las edificaciones tal como si estuviesen acomodados en filas. Pero no se trata de una cuestión de destreza, sino de intención. No hay ningún intento de perspectiva, porque el pintor consideraba que debía registrar las cosas no como se ven, sino como son: una visión divina, un mapa de verdad eterna.

El pintor de perspectiva tiene una intención diferente. Nos aparta deliberadamente de toda visión absoluta y abstracta. Nos presenta no tanto un lugar cuanto un momento, un momento breve: un punto de vista en el tiempo más bien que en el espacio. Todo esto fue realizado por medios precisos y matemáticos. La técnica ha sido cuidadosamente consignada por el artista alemán Alberto Durero, que viajó a Italia en 1506 para aprender «el arte secreto de la perspectiva». Por supuesto que Durero también se ha fijado un momento en el tiempo; y si volvemos a crear la escena, veremos al artista elegir el momento dramático.

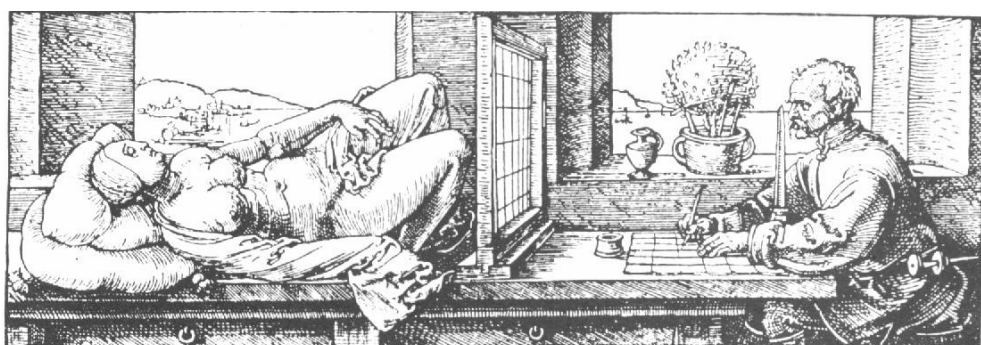


Figura 24. Durero se ha fijado un momento en el tiempo.

“Colóquese un marco con una trama de hilos entre el ojo y la modelo desnuda que se esté dibujando y dibújense estos mismos cuadros en el papel. Póngase un punto en la red que servirá como punto fijo.” Así fue como Leonardo describió el uso de una rejilla como esta.

Pudo haberse detenido antes en su inspección alrededor de la modelo. O pudo haberse movido y congelado la visión en un momento posterior. Pero decidió abrir los ojos, como el obturador de una cámara fotográfica, en el momento determinante en que podía ver de lleno a la modelo. La perspectiva no constituye un solo punto de vista; para el pintor es una operación activa y continua.

En la perspectiva primitiva se solía emplear una mira y una rejilla para capturar el instante de la visión. La mira proviene de la astronomía y el papel cuadriculado en que se esbozaba la pintura es en la actualidad un recurso de la matemática. Todos los detalles naturales en que Durero se deleitaba son expresiones de la dinámica de la época: el buey y el asno, el rubor de la juventud en las mejillas de la Virgen. El cuadro es *La adoración de los magos*. Los tres sabios de Oriente han encontrado su estrella, y lo que ésta anuncia es el nacimiento del tiempo.

El cáliz en el centro de la pintura de Durero fue una pieza de prueba en la enseñanza de la perspectiva. Por ejemplo, contamos con el análisis de Uccello de la forma del cáliz podemos girarlo mediante una computadora, justamente como lo giraba el pintor de perspectiva. Su ojo funcionaba como un plato giratorio para seguir y explorar la forma cambiante, la elongación de los círculos en elipses, y capturar el momento en el tiempo como un trazo en el espacio.

Analizar el movimiento cambiante de un objeto, como yo puedo hacer mediante una computadora, era algo totalmente ajeno a las mentalidades griega e islámica. Estos buscaban siempre lo inmutable y estático, un mundo sin tiempo en perfecto orden. La forma más perfecta para ellos era el círculo. El movimiento debe desarrollarse suave y uniformemente en círculos; esa era la armonía de las esferas.



Figura 25. *El buey y el asno, el rubor de la juventud en la mejilla de la Virgen.*
"La adoración de los Magos" de Durero. Uffizi, Florencia

Debido a esto, el sistema ptolomeico estaba construido a base de círculos, recorridos uniforme e imperturbablemente por el tiempo. Pero los movimientos en el mundo real no son uniformes. Cambian de dirección y de velocidad a cada instante, y no pueden ser analizados a menos que se invente una matemática en que el tiempo sea una variable. Esto constituye un problema teórico en los cielos, pero es práctico e inmediato en la Tierra: en el vuelo de un proyectil, en el crecimiento acelerado de una planta, en la caída de una gota de un líquido que pasa por cambios bruscos de forma y dirección. El Renacimiento carecía del equipo técnico para detener de un momento a otro los cuadros de la película. En cambio, el Renacimiento poseía el equipo intelectual: el ojo interno del pintor y la lógica del matemático.

Fue así como Johannes Kepler, después del año 1600, se convenció de que el movimiento de un planeta no es circular ni uniforme. Es una elipse a lo largo de la cual se desplaza el planeta a velocidades variables. Esto significa que la vieja matemática de diseños estáticos ya no basta, como tampoco la matemática del movimiento uniforme. Se necesita una nueva matemática para definir y operar con el movimiento instantáneo.

La matemática del movimiento instantáneo fue inventada por dos mentes superiores de fines del siglo XVI Isaac Newton y Gottfried Wilhelm Leibniz. Actualmente nos resulta tan familiar, que consideramos el tiempo como un elemento natural en la descripción de la naturaleza; pero esto no siempre fue así. Fueron ellos los que aportaron el concepto de tangente, el concepto de aceleración, el concepto de pendiente, el concepto de infinitesimal, de diferencial. Existe una palabra que ha sido olvidada pero que es en realidad la mejor denominación para aquel flujo del tiempo detenido por Newton como un obturador: *Fluxiones* fue el nombre dado por Newton a lo que hoy día solemos llamar (según Leibniz) el cálculo diferencial. Considerarlo meramente una técnica más avanzada sería perder su contenido real. En él, la matemática se convierte en una forma dinámica de pensamiento, lo cual constituye un gran paso mental en el ascenso del hombre. El concepto técnico que lo hace funcionar es, muy extrañamente, el concepto de un paso infinitesimal; y la innovación intelectual consistió en conferir un significado riguroso. Pero podemos dejar para los profesionales el concepto técnico y conformarnos con denominarlo la matemática del cambio.

Las leyes de la naturaleza habían sido siempre conformadas de cifras desde que Pitágoras afirmara que constituyen el lenguaje de la naturaleza. Pero ahora el lenguaje de la naturaleza tenía que incluir cifras para describir el tiempo. Las leyes de la naturaleza se convierten en leyes del movimiento y la propia naturaleza se transforma no en una serie de cuadros estáticos sino en un proceso móvil.

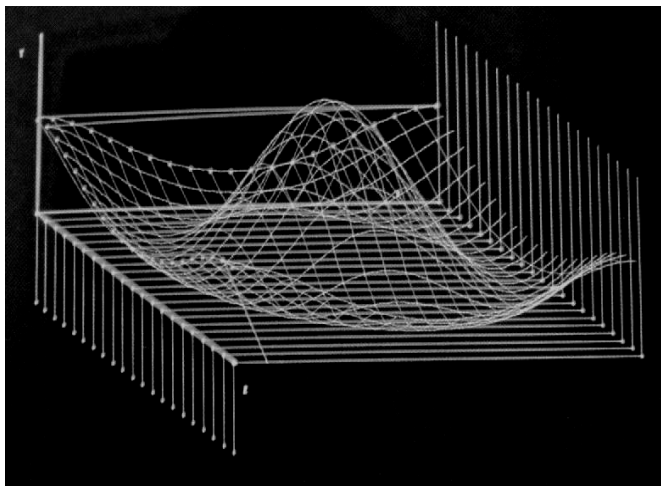


Figura 26. La matemática se convierte en una forma dinámica de pensamiento, lo cual constituye un gran paso mental en el ascenso del hombre.

Gráfica generada por computadora de las trayectorias de partículas subatómicas

6 EL MENSAJERO CELESTE

La primera ciencia que en sentido moderno se desarrolló en las civilizaciones mediterráneas fue la astronomía. Resulta natural llegar a la astronomía directamente desde la matemática; después de todo la astronomía se desarrolló primero y se trocó en modelo de todas las demás ciencias, precisamente porque se podía expresar en números exactos. Esto no constituye una idiosincrasia de mi parte. Lo que sí es idiosincrásico de mi parte es que he elegido iniciar el drama de la primera ciencia mediterránea en el Nuevo Mundo.

Existen rudimentos de astronomía en todas las culturas, y tenían evidente importancia en el sentir de los pueblos primitivos de todo el orbe. Hay una clara razón para ello. La astronomía es el conocimiento que nos guía a través del ciclo de las estaciones por ejemplo, por el movimiento aparente del Sol. De esta manera se puede fijar el tiempo en que los hombres deben sembrar, cosechar, desplazar sus rebaños, etc. Por lo tanto, todas las culturas establecidas poseen un calendario que guía sus planes; esto ocurrió así en el Nuevo Mundo al igual que en las cuencas fluviales de Babilonia y Egipto.

Un ejemplo de esto es la civilización maya que florecía antes del año 1000 d. de C, en el istmo americano comprendido entre los Océanos Atlántico y Pacífico. Tiene derecho a ser considerada como la más importante de las culturas americanas: poseía un lenguaje escrito, destreza en la ingeniería y en las artes originales. Los grandes templos mayas, con sus empinadas pirámides, alojaban algunos astrónomos, y tenemos el retrato de un grupo de ellos en un gran altar de piedra que ha sobrevivido. Este altar conmemora un congreso astronómico antiguo reunido en el año 776 d. de C. Dieciséis matemáticos se reunieron aquí, en el famoso centro de la ciencia maya, la ciudad sagrada de Copán en América Central.

Los mayas poseían un sistema aritmético mucho más avanzado que el europeo; por ejemplo, tenían un símbolo para el cero. Eran buenos matemáticos; no obstante, nunca describieron los movimientos de los astros, exceptuando los más sencillos. En cambio, sus rituales estaban obsesionados con el paso del tiempo, y esta preocupación formal dominaba su astronomía tanto como sus poemas y leyendas. Cuando la gran conferencia se reunió en Copán, los sacerdotes astrónomos mayas se hallaban en dificultades.

Podríamos suponer que tan grave dificultad, que había hecho reunir a estos delegados procedentes de centros muy distantes, se relacionaría con algún problema real de observación. Pero estaríamos equivocados. El congreso fue llamado para resolver un problema aritmético de computación que había inquietado perennemente a los guardianes mayas del calendario. Llevaban ellos dos calendarios, uno sagrado y otro profano, los cuales nunca marchaban al mismo paso; y dedicaban su habilidad a tratar de detener la desviación entre ambos. Los astrónomos mayas poseían solamente reglas simples acerca de los movimientos planetarios en el cielo y carecían de cualquier concepto sobre su mecánica. Su concepto de la astronomía era puramente formal, limitándose a mantener correctos sus calendarios. Esto es todo lo que se realizó en 776 d. de C, cuando los delegados posaron orgullosamente para sus retratos.

El hecho es que la astronomía no se detiene en el calendario. Tenía otro uso entre los pueblos primitivos, que, sin embargo, no era universal. Los movimientos de las estrellas en el cielo nocturno también pueden servir como guía al viajero, y particularmente al viajero marítimo que carece de otras señales. Este es el significado de la astronomía para los navegantes del Mediterráneo en el Viejo Mundo. Pero por lo que podemos juzgar hasta ahora, las gentes del Nuevo Mundo no usaban la astronomía como guía científica para los viajes terrestres y

marítimos. Y sin la astronomía es realmente imposible encontrar el camino en grandes distancias o poseer una teoría acerca de la forma de la Tierra y de las tierras y mares en ésta. Colón trabajaba con una astronomía arcaica y, para nosotros, rústica cuando zarpó hacia el otro lado del mundo: por ejemplo, él creía que la Tierra era mucho más pequeña de lo que es en realidad. Sin embargo, Colón encontró el Nuevo Mundo o puede ser accidente que el Nuevo Mundo nunca concibiera que la Tierra fuese redonda y nunca saliera en busca del Viejo. Fue el Viejo Mundo el que navegó alrededor de la Tierra hasta descubrir el Nuevo.

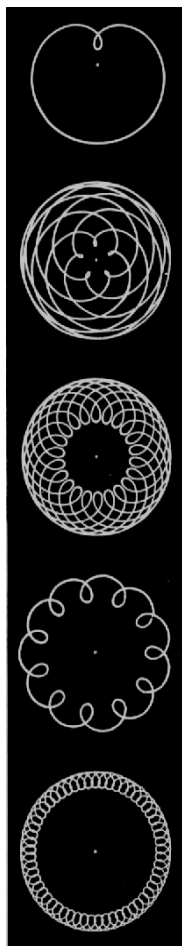


Figura 27. El sentir de que los cielos se movían alrededor de su eje y de que tal eje era la redonda tierra.

El diagrama muestra las órbitas de los planetas como se ven desde la tierra. El sistema de Ptolomeo trataba de explicar esto.

La astronomía no es el ápice de la ciencia o de la investigación; pero es una prueba del temperamento y de la mente subyacente en una cultura. Los navegantes del Mediterráneo, desde el tiempo de los griegos, tenían una curiosidad peculiar que combinaba la aventura con la lógica – lo empírico con lo racional– en una sola forma inquisitiva. El Nuevo Mundo no funcionaba así.

¿No inventó nada el Nuevo Mundo? Por supuesto que sí. Aun una cultura tan primitiva como la de la Isla de Pascua originó una grandiosa invención, el cincelado de estatuas enormes y uniformes. No hay nada como ellas en el mundo, y la gente, como siempre, hace toda clase de preguntas marginales e irrelevantes sobre ellas; ¿Por qué las hicieron así? ¿Cómo fueron transportadas? ¿Cómo llegaron hasta los lugares donde se encuentran? Pero éste no es el problema importante. Stonehenge, de una civilización mucho más temprana de la edad de piedra, fue mucho más difícil de construir; igual que Avebury y muchos otros monumentos. No, las culturas primitivas iban paso a paso a lo largo de estas enormes empresas comunales.

El interrogante crítico sobre estas estatuas es, ¿por qué se hicieron todas *iguales*? Ahí están sentadas, como Diógenes en su tonel, mirando hacia el cielo con las cuencas de los ojos vacías y observando cómo el Sol y las estrellas pasan sobre sus cabezas sin tratar nunca de entenderlos. Cuando los holandeses descubrieron esta isla el domingo de Pascua de 1722, afirmaron que tenían los elementos necesarios de un paraíso terrenal. Pero no era así. Un paraíso terrenal no está formado de esta repetición vacía, como un animal enjaulado yendo de aquí para allá y haciendo siempre lo mismo. Estas caras congeladas, estas figuras heladas de una época en declive, señalan una civilización que fracasó en dar el primer paso en el ascenso del conocimiento racional. Esta es la falla de las culturas del Nuevo Mundo, el extinguirse en su propia Glaciación simbólica.



*Figura 28. Un paraíso en la Tierra no está hecho por representaciones vacías.
Una fila de cabezas de piedra en bahía Moais, Isla de Pascua.*

La Isla de Pascua se encuentra a más de mil quinientos kilómetros de la isla habitada más cercana: la Isla Pitcairn, hacia el oeste. Está a más de dos mil kilómetros de la siguientes, las Islas Juan Fernández hacia el este, donde Alexander Selkirk, el auténtico Robinsón Crusoe, quedó desamparado en 1704. Distancias como éstas no pueden ser navegadas a no ser que se posea un mapa celeste y de las posiciones de las estrellas que sirva para indicar la ruta. La gente pregunta con frecuencia acerca de la Isla de Pascua, ¿cómo llegaron los hombres a ella? Llegaron por accidente: esto no se cuestiona. La cuestión es ¿por qué no pudieron marcharse? No pudieron marcharse porque carecían de cualquier noción del movimiento de las estrellas, mediante el cual poder encontrar su camino.

¿Por qué no? Una razón obvia es que en el cielo meridional no hay Estrella Polar. Sabemos que esto es importante porque juega un papel primordial en la migración las aves, las cuales encuentran su camino gracias a la Estrella Polar. Esto explica quizá por qué la migración de aves se da mayormente en el hemisferio norte y no en el sur.

La ausencia de la Estrella Polar puede ser significativa aquí, en el hemisferio sur, pero no en todo el Nuevo Mundo. Pues ahí está la América Central, y México, y toda clase de lugares que tampoco contaban con la astronomía y que, no obstante, están al norte del ecuador.

¿Qué falló allí? Nadie lo sabe. Yo creo que les faltaba la gran imagen dinámica que movió al

Viejo Mundo: la rueda. Esta era sólo un juguete en el Nuevo Mundo. Pero en el Viejo constituía la imagen más grande de la poesía y de la ciencia: todo se fundaba en ella. Esta idea de los cielos moviéndose alrededor de su eje fue la inspiración de Cristóbal Colón al zarpar en 1492, y tal eje era la redondez de la tierra. La había recibido de los griegos, quienes creían que las estrellas estaban fijadas sobre esferas que producían música conforme giraban. Ruedas dentro de ruedas. Tal era el sistema de Ptolomeo, vigente durante más de mil años.

Más de un siglo antes de la partida de Cristóbal Colón, el Viejo Mundo ya había fabricado un espléndido reloj de los cielos estrellados. Fue hecho por Giovanni De Dondi, en Padua, hacia 1350. Le llevó dieciséis años el construirlo, y es una pena que el original no haya sobrevivido. Felizmente, ha sido posible construir un duplicado merced a los planos originales, y el Smithsonian Institute de Washington alberga este maravilloso modelo de la astronomía clásica que diseñó Giovanni De Dondi.

Pero más importante que la maravilla mecánica es el concepto intelectual, que proviene de Aristóteles y Ptolomeo y los griegos. El reloj de De Dondi manifiesta su visión de los planetas observándolos desde la Tierra. A partir de ésta hay siete planetas, o al menos eso creían los antiguos, puesto que incluían también al Sol como planeta de la Tierra. Así, el reloj presenta siete esferas o cuadrantes, en cada una de las cuales gira un planeta. La órbita del planeta en su cuadrante es (aproximadamente) la misma que podemos observar desde la Tierra: el reloj es casi tan exacto como las observaciones que se realizaban en su época. Cuando la órbita parece circular vista desde la Tierra, es circular en el cuadrante; eso era fácil. Pero donde la órbita de un planeta, vista desde la Tierra, forma una curva cerrada, De Dondi crea una combinación mecánica a base de ruedas que reproduce el epiciclo (es decir, el giro de círculos en círculos) como había sido descrito por Ptolomeo. Aparece primero el Sol: una órbita circular, como ellos la veían. El siguiente cuadrante muestra a Marte: su movimiento se efectúa mediante una rueda de reloj dentro de la rueda. Sigue Júpiter: ruedas más complejas dentro de otras. Después Saturno: ruedas dentro de ruedas. Viene después la Luna: ¿no es una delicia la interpretación de De Dondi? Su cuadrante es simple, porque es realmente un planeta de la Tierra, y su órbita se presenta como circular. Por fin llegamos a los cuadrantes de dos planetas que se ubican entre nosotros y el Sol; o sea, Mercurio y finalmente Venus, Y de nuevo lo mismo: la rueda que transporta a Venus gira dentro de una rueda hipotética más grande.

Conforma un concepto intelectual maravilloso; muy complejo, pero lo que lo hace aún más formidable es que en el año 150 d. de C, no mucho después del nacimiento de Jesucristo, los griegos pudieran concebir y expresar en matemáticas esta soberbia construcción. Luego, ¿qué hay de errado en ella? Tan sólo una cosa: que presenta siete cuadrantes para el firmamento y el firmamento debe contar con una maquinaria, no con siete. Y esta maquinaria no fue descubierta hasta que Copérnico situó al Sol en el centro del firmamento en 1543.

Nicolás Copérnico fue un distinguido eclesiástico y humanista intelectual polaco, que nació en 1473. Había estudiado derecho y medicina en Italia; aconsejó a su gobierno en la reforma de la moneda; y el Papa solicitó su ayuda en la reforma del calendario. Durante al menos veinte años de su vida se dedicó a la teoría moderna de que la naturaleza debe ser simple. ¿Por qué eran tan complicadas las órbitas de los planetas? Porque, pensaba, las observamos desde el sitio en que nos encontramos: la Tierra. Al igual que los pioneros de la perspectiva, Copérnico se preguntó: ¿Por qué no mirarlas desde otro lugar? Existían razones renacentistas de peso, más emocionales que intelectuales, que le hicieron elegir el dorado Sol como el otro lugar.

En el centro de todo reina el Sol. ¿Podríamos colocar a esta luminaria en mejor sitio en este templo incomparable desde el cual iluminar todo a la vez? Con verdad se le denomina la Lámpara, la Mente, el Regidor del Universo: Hermes Trismegistus lo llama el Dios Visible, Sófocles en su Electra lo denomina el Omnividente. Así, el Sol está en su trono real, gobernando a sus hijos, los planetas que giran en su derredor.

Sabemos que Copérnico había pensado, durante mucho tiempo, en situar al Sol en el centro del sistema planetario. Puede que escribiera el primer esbozo tentativo y no matemático de su concepto antes de los cuarenta años de edad. Empero, no se trataba de una teoría que proponer a la ligera en una época de crisis religiosa. Hacia 1543, cerca de los setenta años de edad, se decidió finalmente Copérnico a publicar su descripción matemática del firmamento, llamada por él *De Revolutionibus Orbium Coelestium*, *La revolución de las órbitas celestes*, como un solo sistema que se mueve alrededor del Sol. (La palabra «revolución» tiene ahora una connotación no precisamente astronómica, y que no es accidental. Es una consecuencia de esta época y de este tema.) Copérnico murió en ese mismo año. Se ha dicho que sólo vio en una ocasión un ejemplar de su libro, cuando le fue puesto en las manos en su lecho de muerte.

La llegada del renacimiento como una sola acometida – en religión, arte, literatura, música y ciencias matemáticas – constituyó una colisión de frente con todo el sistema medieval. A nosotros nos parece incidental la inclusión de la mecánica de Aristóteles y la astronomía de Ptolomeo dentro del sistema medieval. Pero para los contemporáneos de Copérnico representaban el orden natural y visible del mundo. La rueda como ideal griego del movimiento perfecto se había convertido en un dios petrificado, tan rígido como el calendario maya o las figuras esculpidas en la Isla de Pascua.

El sistema de Copérnico parecía antinatural en su tiempo, pese a que en él los planetas se siguen desplazando en círculos. (Fue un hombre más joven, Johannes Kepler, trabajando después en Praga, quien demostró que las órbitas son realmente elípticas) Esto no inquietaba al hombre de la calle ni al del púlpito. Estaban cometidos a la rueda de los cielos: los ejércitos del cielo deberán marchar alrededor de la Tierra. Esto se había convertido en artículo de fe, tal y como si la Iglesia se hubiese hecho a la idea de que el sistema de Ptolomeo había sido inventado no por un griego levantino sino por el mismo Todopoderoso. Es claro que no se trataba de una cuestión de doctrina, sino de autoridad. La controversia no se hizo crítica hasta setenta años después, en Venecia.

Dos grandes hombres nacieron en el año 1564: uno fue William Shakespeare, en Inglaterra el otro Galileo Galilei, en Italia. Cuando Shakespeare escribe sobre el drama del poder en su propia época, en dos ocasiones lo sitúa en la República de Venecia: primero en *El mercader de Venecia* y después en *Otelo*. Esto es porque en 1600 el Mediterráneo era aún el centro del mundo, y Venecia el eje del Mediterráneo. A esta ciudad llegaban a trabajar los ambiciosos, porque podían hacerlo libremente, sin restricciones: mercaderes, aventureros e intelectuales; una pléyade de artistas y artesanos se apiñaban en las calles, tal y como lo hacen hoy día.

Los venecianos tenían fama de ser gente misteriosa y taimada. Venecia era un puerto libre, como se denominaría actualmente, lo que le daba cierto aire conspiratorio como ocurre con Lisboa y Tánger. Fue en Venecia donde un falso benefactor atrapó a Giordano Bruno en 1592 y lo entregó a la Inquisición, que lo puso en la hoguera en Roma ocho años después.

Ciertamente, los venecianos eran un pueblo práctico. Galileo había desarrollado trabajos importantes en ciencia fundamental en Pisa. Pero lo que hizo que los venecianos le contratasen como profesor de matemáticas en Padua fue, según sospecho, su talento para los inventos prácticos. Algunos de éstos se conservan en la colección histórica de la *Accademia Cimento* de Florencia, y están primorosamente concebidos y realizados. Ahí se encuentra un aparato de vidrio con circunvoluciones para medir la expansión de los líquidos, bastante parecido a un termómetro; y una delicada balanza hidrostática para encontrar la densidad de objetos preciosos, basada en el principio de Arquímedes. Y hay también algo que Galileo, que era un vendedor muy hábil, llamó «compás militar», que es era realidad un instrumento de cálculo no muy distinto a una regla de cálculo moderna. Galileo los elaboraba y vendía en su propio taller. Escribió un manual para su «compás militar» y lo publicó en su propia casa; fue uno de los primeros trabajos impresos de Galileo. Era ésta la ciencia comercial prudente que los venecianos admiraban.

De este modo, no es sorprendente que, a fines de 1608, unos fabricantes flamencos de anteojos

que habían inventado una forma primitiva de catalejo, intentasen venderla a la República de Venecia. Mas, por supuesto, la república tenía a su servicio, en la persona de Galileo, a un científico y matemático inmensamente más poderoso que cualquier otro en el norte de Europa – y a un publicista de primera – que, al fabricar un telescopio, reunió al Senado veneciano en lo alto del *Campanile* para demostrarlo.

Galileo era un hombre de baja estatura, fornido y dinámico, pelirrojo y con bastantes más hijos de los que un soltero debe tener. Tenía cuarenta y cinco años cuando supo del invento flamenco, y la noticia le electrizó. Caviló durante una noche sobre este invento, y diseñó un instrumento prácticamente tan bueno como aquel, con un triple aumento, que es solo ligeramente superior a los binoculares de teatro. Pero antes de la demostración en el *Campanile* de Venecia, subió el aumento a ocho o diez, logrando así un verdadero telescopio. Mediante éste, desde lo alto del *Campanile*, donde el horizonte dista alrededor de treinta kilómetros, pueden no sólo verse los barcos de vela en el mar, sino incluso identificarlos hasta más de dos horas después de haber levado anclas. Y esto valía mucho dinero para los comerciantes del Rialto.

Galileo narró estos sucesos a su cuñado en Florencia, en una carta fechada el 29 de agosto de 1609:

Debes saber, entonces, que hace cerca de dos meses desde que se difundió aquí la noticia de que en Flandes se le había presentado al conde Mauricio un catalejo, elaborado de manera tal que las cosas muy distantes parecen estar sumamente cerca, así que se puede ver con claridad a un hombre que se encuentre a tres kilómetros de distancia. Este me pareció un efecto tan maravilloso, que me dio ocasión para meditar; y como me pareció que debía estar fundado en la ciencia de la perspectiva, me propuse lograr su fabricación; la que por fin conseguí, y tan perfectamente que uno que yo hice superó con gran ventaja la fama del invento flamenco. En cuanto llegó la noticia de que yo había hecho uno a Venecia, a los seis días fui requerido por la Señoría, pidiéndoseme que hiciera una demostración ante ésta y el Senado en pleno, causando un asombro infinito a todos; y hubo numerosos caballeros y senadores que, pese a su avanzada edad, subieron en más de una ocasión las escaleras de los campanarios más altos de Venecia para observar veleros y naves que se hallaban tan distantes que, viniendo a toda velocidad hacia el puerto, no se podrían ver sin mi catalejo sino hasta dos horas después. Pues de hecho la función de este instrumento es la de representar un objeto que esta, por ejemplo, a setenta y cinco kilómetros de distancia, tan grande y tan próximo como si estuviese solamente a siete kilómetros y medio.

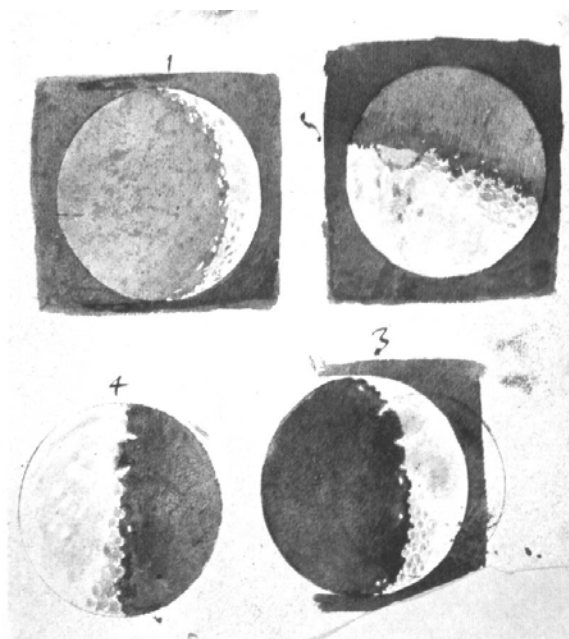


Figura 29. “Muy hermoso y encantador espectáculo es el contemplar el cuerpo de la luna.”
Dibujos de Galileo de las fases de la luna, vistas a través de uno de sus telescopios en 1610.

Galileo es el creador del método científico moderno. Y lo creó en los seis meses subsiguientes a su triunfo en el *Campanile*, triunfo que le hubiera bastado a cualquier otra persona. Se le ocurrió que no era suficiente convertir el juguete de Flandes en instrumento de navegación. Se podía convertir también en instrumento de investigación, idea que resultaba completamente novedosa para la época. Subió a treinta el aumento y lo apuntó hacia las estrellas. De esta manera realizaba por vez primera lo que consideramos ciencia práctica: construir el aparato, realizar el experimento y publicar los resultados. Y efectuó esto entre septiembre de 1609 y 1610, cuando publicó en Venecia su espléndido libro *Sidereus Nuncius*, *El mensajero celeste*, que ofrecía un relato ilustrado de sus nuevas observaciones astronómicas. ¿Qué contaba?

[He visto] estrellas por miríadas. nunca antes vistas, las cuales sobrepasan, en número más de diez veces a las antes conocidas.

Mas lo que mayor asombro causará seguramente, y lo que de hecho me hace llamar la atención de los astrónomos y de los filósofos es, a saber, que he descubierto cuatro planetas, ninguno de los cuales ha sido conocido ni observado por astrónomo alguno anterior mi.

Se trataba de los satélites de Júpiter. En *El mensajero celeste* cuenta también cómo enfocó el telescopio hacia la Luna. Galileo fue el primero en publicar mapas de la Luna. Contamos con sus acuarelas originales.

Muy hermoso y encantador espectáculo es el contemplar el cuerpo de la Luna... Ciertamente que no posee una superficie lisa y pulida, sino más bien accidentada e irregular y, al igual que la faz de la Tierra, se encuentra colmada de grandes protuberancias, abismos profundos y sinuosidades.

El embajador británico ante la corte de los Dogos en Venecia, sir Henry Wotton, escribió a sus superiores en Inglaterra el día de la aparición de *El mensajero celeste*:

El profesor de matemáticas de Padua ha... descubierto cuatro nuevos planetas que giran en derredor de la esfera de Júpiter, entre muchas otras estrellas fijas desconocidas; asimismo... que la Luna no es esférica sino que presenta múltiples prominencias... El autor ha gastado una fortuna por convertirse en sumamente famoso o en sumamente ridículo. En la próxima nave enviaré a vuestra excelencia uno de los instrumentos [ópticos] que han sido hechos por este hombre.

La noticia causó sensación. Creó una fama aún más grande que su triunfo ante la comunidad de comerciantes. Sin embargo, no era bien visto por todos, pues lo que Galileo observaba en el cielo y revelaba a todo aquel dispuesto a mirar, era que el cielo ptolemeico simplemente no funcionaba. La poderosa intuición de Copérnico había acertado y quedaba ahora abierta y revelada. Y como ha sucedido con muchos otros resultados científicos recientes, no era del agrado de los grupos conservadores y prejuiciosos de la época.

Galileo pensaba que todo lo que tenía que hacer era demostrar que Copérnico tenía razón, y que todo mundo le escucharía. Este fue su primer error: el error de ser ingenuo con respecto a los motivos de la gente, error cometido con tanta frecuencia por los científicos. Creía también que su fama era ya lo suficientemente grande como para permitirle retornar a su natal Florencia, abandonar la monótona cátedra de Padua, que se había convertido en una carga bastante pesada, y alejarse del amparo de la esencialmente anticlerical y segura República de Venecia. Este fue su segundo y, a fin de cuentas, fatal error.

Las victorias de la Reforma Protestante en el siglo dieciséis habían llevado a la Iglesia Católica Romana a organizar una feroz Contrarreforma. La reacción contra Lutero se hallaba en pleno auge se luchaba en Europa por la autoridad. Se inició en 1618 la Guerra de los treinta años. En 1622, Roma creó la institución para la propagación de la fe, de la cual se deriva la palabra *propaganda*. Católicos y protestantes se enfrascaban en lo que hoy llamaríamos una guerra fría, en la cual, ¡de haberlo sabido Galileo!, no había cuartel para hombre grande o pequeño. El criterio era muy simple en ambos lados: quien no está con nosotros es un hereje. Hasta un intérprete de la fe tan poco mundano como el cardenal Bellarmine había considerado intolerables las especulaciones astronómicas de Giordano Bruno y le había enviado a la hoguera. La Iglesia era un gran poder temporal, y en esos años aciagos se batía en una cruzada política en la que todos los medios eran justificados por los fines: la ética del estado policial.

Me da la impresión de que Galileo era extrañamente inocente en relación con el mundo de la política, y más todavía al pensar que podía burlarlo porque era más listo. Durante más de veinte años caminó por una senda que inevitablemente le conducía a su perdición. Costó mucho tiempo socavarle; mas nunca hubo duda alguna de que Galileo sería silenciado, pues era absoluta la división entre él y las autoridades. Estas pensaban que la fe debería dominar; y Galileo creía que la verdad debería persuadir.

La confrontación de principios y, por supuesto, de personalidades se hizo patente en su juicio de 1633. Pero todo juicio político tiene una larga historia oculta que se ha manifestado detrás del escenario. Y la historia subyacente de lo ocurrido con antelación al juicio se encuentra bajo llave en los Archivos secretos del Vaticano. Entre todos estos corredores repletos de documentos, hay una modesta caja fuerte en la cual el Vaticano conserva los documentos que considera cruciales. Aquí se halla, por ejemplo, la petición de divorcio de Enrique VIII, cuyo rechazo acarreó la Reforma inglesa y la ruptura con Roma. Del juicio de Giordano Bruno no se conservan muchos documentos, pues la mayor parte fue destruida; pero lo que perdura se encuentra ahí.

Y allí está el famoso Códice 1181; *Procedimientos contra Galileo Galilei*. El proceso tuvo lugar en 1633. Y lo primero que salta a la vista es que los documentos empiezan, ¿cuándo? En 1611, en el momento del triunfo de Galileo en Venecia, en Florencia y aquí en Roma, se acumulaba información secreta contra Galileo para ser presentadas ante el Santo Oficio de la Inquisición. La evidencia del documento más antiguo, que no aparece en este legajo, es que el cardenal Bellarmine instigó investigaciones contra él. Los informes están archivados en 1613, 1614 y 1615. Galileo empieza a alarmarse por entonces. Sin ser requerido, se presenta en Roma con el propósito de convencer a sus amigos de entre los cardenales de que no prohibiesen el sistema copernicano del mundo.

Mas ya era demasiado tarde. Fechadas en febrero de 1616, he aquí las palabras formales que aparecen esquemáticamente en el código, traducidas libremente:

*Proposiciones a ser prohibidas:
que el Sol se ubica inamovible en el centro del cielo;
que la Tierra no se encuentra en el centro del cielo y
que no es inamovible, sino que obedece a un
movimiento doble.*

Galileo parecía estar al margen de cualquier censura severa. De todos modos, fue requerida su presencia ante el gran cardenal Bellarmine y fue convencido, y cuenta con una carta en que Bellarmine afirma esto, de no sostener ni defender el sistema copernicano del mundo; pero ahí termina el documento. Desgraciadamente, existe un documento en este registro que va más allá y del que dependería el juicio. Pero esto ocurriría diecisiete años después.

Mientras tanto, Galileo regresa a Florencia convencido de dos cosas. La primera, que no ha llegado todavía el momento de defender públicamente a Copérnico. La segunda, piensa que la ocasión llegará. Tiene razón en cuanto a la primera; en cuanto a la segunda, no. No obstante, Galileo decidió aguardar, ¿hasta cuándo? Hasta que un cardenal intelectual fuese elegido Papa: Maffeo Barberini.

Esto ocurrió en 1623, cuando Maffeo Barberini se convirtió en el Papa Urbano VIII. El nuevo Papa era amante de las artes, Le gustaba la música: comisionó al compositor Gregorio Allegri para que escribiera un *Miserere* para nueve voces, que durante mucho tiempo estuvo reservado para el Vaticano. Al nuevo Papa le gustaba la arquitectura. Deseaba convertir San Pedro en el centro de Roma. Encargó al escultor y arquitecto Gianlorenzo Bernini la terminación de los interiores de San Pedro, y Bernini diseñó el audaz y elevado *baldaquino* sobre el trono papal, que constituye la única adición valiosa al diseño original de Miguel Ángel. En sus años mozos, el Pontífice intelectual también había escrito poemas, uno de los cuales era un soneto de alabanzas a Galileo por sus escritos astronómicos.

El Papa Urbano VIII se consideraba a sí mismo como un innovador. Poseía una mente segura e impaciente:

¡Yo sé más que todos los cardenales juntos! La sentencia de un Papa vivo vale más que todos los decretos de cien Papas muertos,

dijo imperiosamente. Pero en realidad, Barberini como Papa resultó ser un barroco puro: pródigo nepotista, extravagante, dominante, inflexible en sus designios y absolutamente sordo para las ideas de otros. Incluso mandó matar los pájaros de los jardines vaticanos porque le molestaban.



Figura 30. Hay una modesta caja fuerte en la cual el Vaticano conserva los documentos que considera cruciales.

El autor en los Archivos Secretos del Vaticano examinando los documentos del juicio de Galileo.

Galileo llegó con optimismo a Roma en 1624, y sostuvo en los jardines seis largas conversaciones con el Papa recién elegido. Tenía esperanzas de que el intelectual Pontífice suspendiera, o cuando menos pasara por alto, la prohibición de 1616 respecto a la imagen del mundo de Copérnico. Pero sucedió que el Papa Urbano VIII no quiso ni considerar esto. Empero, Galileo aún esperaba – y los dignatarios de la corte papal suponían – que Urbano VIII permitiría fluir sigilosamente las nuevas ideas científicas dentro de la Iglesia, hasta que, de manera imperceptible, reemplazasen a las antiguas. Después de todo, así se habían introducido en la doctrina cristiana las ideas paganas de Ptolomeo y de Aristóteles. Así, pues, Galileo suponía que el Papa estaba de su lado, dentro de los límites que su posición le imponía, hasta que llegó el momento de comprobarlo. Y resultó que Galileo estaba rotundamente equivocado en sus apreciaciones.

A nivel intelectual, sus puntos de vista habían sido en realidad irreconciliables desde el principio. Galileo había sostenido siempre que la comprobación final de una teoría debía ser encontrada en la naturaleza.

Yo considero que en las discusiones sobre problemas físicos deberíamos partir no de la autoridad de los pasajes bíblicos, sino de las experiencias de los sentidos y de las demostraciones necesarias. Dios no se manifiesta de manera menos excelente en las acciones de la Naturaleza que en las sagradas declaraciones de la Biblia.

Urbano VIII objetó que no puede haber una prueba final para los designios de Dios, e insistió en que Galileo hiciera esta aclaración en su libro.

Sería una impudencia extravagante para cualquiera el pretender limitar y confinar el poder y la sabiduría divinos a una conjetura particular de su cosecha.

Tal estipulación era particularmente importante para el Papa. En efecto, impedía a Galileo la formulación de cualquier conclusión definitiva (incluso la conclusión negativa de que Ptolomeo estaba equivocado), porque infringiría el derecho de Dios a regir el universo mediante milagros, en vez de mediante la ley natural.

La prueba vino en 1632, cuando por fin Galileo logró que su libro, *Diálogo sobre los grandes sistemas del mundo*, fuese impreso. Urbano VIII se escandalizó.

Vuestro Galileo ha osado entremeterse en cosas que no debería, y en los temas más importantes y peligrosos que pueden removerse en estos días,

escribió al embajador de la Toscana el 4 de septiembre de aquel año. En el mismo mes llegaría la orden fatal:

Su Santidad encarga al Inquisidor de Florencia que informe a Galileo en nombre del Santo Oficio, de que deberá comparecer lo antes posible en el curso del mes de octubre en Roma, ante el Comisario General del Santo Oficio.

El Papa, Maffeo Barberini el amigo, Urbano VIII, lo había entregado personalmente en manos del Santo Oficio de la Inquisición, cuyo proceso era irreversible.



Figura 31. Dictaminaron diez jueces. Uno de ellos era hermano del Papa y otro su sobrino. Aguada de Urbano VIII dando la bendición. Su hermano Antonio sostiene la vela. El tercer cardenal es su sobrino Francisco, que se abstuvo de votar en el juicio de Galileo.

El monasterio dominicano de Santa María Sopra Minerva era el sitio en que la Santa Inquisición Romana Universal procedía contra aquellos cuya lealtad estaba en cuestión. Había sido creada por el Papa Paulo III en 1542, con objeto de contener la difusión de las doctrinas reformistas, siendo instituida especialmente «contra la depravación herética en toda la Cristiandad». A partir de 1571, se le había también conferido el poder de juzgar la doctrina escrita, y había instituido el Índice de Libros Prohibidos. Las reglas de procesamiento eran estrictas y precisas. Habían sido formalizadas en 1588 y, por supuesto, no eran las reglas de una corte. El prisionero carecía de una copia de las acusaciones y de la evidencia; además, carecía de defensor.

Diez jueces dictaminaron en el proceso de Galileo: todos cardenales y todos dominicos. Uno de ellos era hermano del Papa y otro su sobrino. El juicio fue conducido por el Comisario General de la Inquisición. El salón en el cual se celebró el juicio de Galileo forma parte actualmente del

edificio de Correos de Roma; pero sabemos cómo era su aspecto en 1633: una sala de reuniones fantasmal del comité de un club de caballeros.

Sabemos también exactamente los pasos recorridos por Galileo hasta llegar a esta situación crítica. Se inició en aquellos paseos por los jardines en compañía del nuevo Papa, en 1624. Era obvio que el Papa no permitiría que la doctrina de Copérnico fuera emitida abiertamente. Pero había otra forma; y en 1625 Galileo empezó a escribir, en italiano, el *Diálogo sobre los grandes sistemas del mundo*, en que un orador ponía objeciones a la teoría, mientras que otros dos, bastante más inteligentes, le respondían.

Pues es un hecho que la teoría de Copérnico no es evidente de por sí. No está claro cómo puede la Tierra circunvalar el Sol una vez al año, o girar sobre su propio eje una vez al día, sin que seamos desplazados. No está claro cómo, al dejarse caer un peso desde lo alto de una torre, éste cae verticalmente sobre una Tierra giratoria. Galileo respondió a estas objeciones, virtualmente en nombre de Copérnico, fallecido mucho tiempo atrás. Debemos tener muy en cuenta que Galileo desafió al clero en 1616 y en 1633 en defensa de una teoría que no era propia, sino de un hombre ya fallecido, porque creía que era verdadera.

Pero en su propio nombre Galileo introdujo en el libro la idea que nos trasmite toda su obra científica, desde que, en su juventud en Pisa, se había tomado el pulso al tiempo que observaba un péndulo. Es ésta la noción de que las leyes aquí en la Tierra se extienden al universo hasta traspasar las esferas de cristal. Las fuerzas en el cielo son de la misma naturaleza que las de la Tierra, es la aseveración de Galileo; de manera que los experimentos mecánicos que realizamos aquí nos pueden proporcionar información acerca de las estrellas. Al apuntar su telescopio hacia la Luna, hacia Júpiter o hacia las manchas solares, ponía fin a la creencia clásica de que los cielos son perfectos e inmutables y que únicamente la Tierra está sujeta a las leyes del cambio.

El libro estaba terminado para 1630, y a Galileo no le fue fácil obtener la licencia. Los censores lo vieron con simpatía, mas pronto se hizo patente que había fuerzas poderosas contra la obra. Empero, Galileo obtuvo por fin no menos de cuatro *imprimatur*, y a principios de 1632 se publicó el libro en Florencia. El éxito fue inmediato, como inmediato fue el desastre para su autor. Casi al mismo tiempo llegaba de Roma el clamor: «Detened las prensas. Comprad todos los ejemplares (que para entonces se habían vendido), Galileo deberá venir a Roma a responder por ello». Y nada que él dijese podía contravenir la orden: su edad (tenía cerca de setenta años), su enfermedad (que era real), la protección del Gran Duque de Toscana; nada contaba. Tenía que presentarse en Roma.

Estaba claro que el mismo Papa estaba muy ofendido por el libro. Había encontrado al menos un pasaje, en que había insistido mucho, en boca del personaje que da la impresión de ser un simplón. La Comisión Preparatoria del juicio lo afirma tajantemente: la estipulación que yo cité antes y que era tan importante para el Papa ha sido puesta «*in bocca di un sciocco*», el defensor de la tradición al que Galileo puso el nombre «Simplicius». Es posible que el Papa viera en Simplicius su propia caricatura; seguramente se sintió insultado. Creyó que Galileo se había burlado de él y que sus propios censores le habían fallado.

Así, el 12 de abril de 1633, Galileo fue traído a esta sala, se sentó a esta mesa y respondió a las preguntas del Inquisidor. Las preguntas le fueron dirigidas cortésmente en medio de la atmósfera intelectual que reinaba en la Inquisición: en latín, en tercera persona. ¿Cómo fue traído a Roma? ¿Es suyo este libro? ¿Por qué decidió escribirlo? ¿Qué contiene su libro? Eran todas preguntas esperadas por Galileo; esperaba defender su obra. Pero entonces surgió una pregunta inesperada.

Inquisidor: *¿Estaba en Roma, en el año 1616 en particular, y con qué propósito.*

Galileo: *Estuve en Roma en el año 1616 porque, teniendo conocimiento de las dudas expresadas sobre las opiniones de Nicolás Copérnico, me decidí a venir para indagar qué posición era conveniente adoptar.*

El mensajero celeste

Inquisidor: *Permítasele decir qué fue decidido y qué se le dio a conocer entonces.*

Galileo: *En el mes de febrero de 1616, el cardenal Bellarmine me expresó que el sostener la opinión de Copérnico como un hecho comprobado era contrario a las Sagradas Escrituras. Por lo tanto, no podía ser sostenida ni defendida, en cambio, podía tomarse y emplearse como hipótesis. Para confirmar esto, conservo un certificado del cardenal Bellarmine, fechado el 26 de mayo de 1616.*

Inquisidor: *¿Le fue indicado por otro en aquella ocasión algún otro precepto?*

Galileo: *No recuerdo que se me haya dicho u ordenado nada más.*

Inquisidor: *Si se le declara que, en presencia de testigos, se le dieron instrucciones de que no debía sostener ni defender la citada opinión, ni enseñarla en cualquier forma, permítasele ahora que diga si es que recuerda.*

Galileo: *Recuerdo que las instrucciones fueron que no debía ni sostener ni defender la dicha opinión. Los otros dos particulares, es decir, ni enseñarla ni considerarla de cualquier manera, no están expresados en el certificado en que me apoyo.*

Inquisidor: *Después del susodicho precepto, ¿obtuvo permiso para escribir el libro?*

Galileo: *No solicité permiso para escribir este libro en virtud de que consideré que no desobedecía las instrucciones que me habían sido dadas.*

Inquisidor: *Cuando solicitó permiso para imprimir el libro, ¿reveló el mandato de la Santa Congregación del que hablamos?*

Galileo: *Nada dije cuando solicité permiso para publicarlo, puesto que en el libro no sostenía ni defendía la opinión.*

Galileo contaba con un documento firmado en que sólo se le prohibía sostener o defender la teoría de Copérnico, tal y como si fuera un hecho demostrado. Era ésta una prohibición impuesta sobre todo católico de la época. La Inquisición mantenía que existía un documento que prohibía a Galileo, y sólo a Galileo, el enseñarla *de cualquier manera*, es decir: aun por medio de la discusión o especulación o como una hipótesis. La Inquisición no tenía que mostrar tal documento. No era parte de las reglas del proceso. Pero nosotros tenemos el documento: se encuentra en los Archivos Secretos, y es manifiestamente una falsificación o, visto con benevolencia, un borrador para una reunión sugerida pero que fue rechazado. No está firmado por el cardenal Bellarmine. Ni por los testigos. Ni por el notario. No está firmado por Galileo para demostrar que lo recibió.

¿Tuvo que rebajarse realmente la Inquisición a utilizar argucias legales, como «sostener o defender» o «enseñar de cualquier manera», frente a documentos que no resistirían el examen cuidadoso de cualquier corte legal? Pues, sí, tuvo que hacerlo. No había nada más que hacer. El libro había sido publicado; había sido aprobado por varios censores. Ya podía el Papa enfurecerse contra los censores (arruinó a su propio secretario por haber ayudado a Galileo). Pero tenía que crearse una conciencia pública de que el libro sería condenado (aparecería en el Índice durante doscientos años) *debido a un engaño tramado por Galileo*. Es por ello que el juicio evitó cualquier tema sustancial, tanto en el libro como en Copérnico, y se entretuvo con fórmulas y documentos. Se quería dar la impresión de que Galileo había engañado deliberadamente a los censores y que había actuado de manera no sólo desafiante sino deshonestamente.

La corte no se volvió a reunir, para nuestra sorpresa, el juicio acabó aquí. No obstante, Galileo fue traído a esta habitación en dos ocasiones más y se le permitió declarar en su favor; pero no se le formularon preguntas. Se pronunció la sentencia en una junta de la Congregación del Santo Oficio presidida por el Papa, determinándose exactamente los pasos a seguir. El científico disidente tendría que ser humillado; se requería una demostración de gran autoridad no solamente en la acción sino también en la intención. Galileo tendría que retractarse; y se le mostrarían los instrumentos de tortura como si fuesen a ser utilizados.

El mensajero celeste

Lo que esta amenaza significa para un hombre que se había iniciado como médico, lo podemos juzgar por el testimonio de un contemporáneo suyo que había sido torturado en el potro y que había sobrevivido. Se trata del inglés William Lithgow, torturado en 1620 por la Inquisición española.

Me llevaron al potro y me colocaron sobre él. Mis piernas fueron pasadas por los dos lados del potro de tres tablones. Me ataron una cuerda a los tobillos. Al avanzar las palancas, la fuerza de mis rodillas contra los tablones rompió los tendones de mis nalgas y las tapas de mis rodillas se hicieron pedazos. Mis ojos empezaron a salirse de sus órbitas, de mi boca salía espuma y me castañeteaban los dientes como redoble de tambor. Me temblaban los labios, mis gemidos eran terribles y la sangre brotaba de mis brazos, tendones, manos y rodillas. Al ser liberado de tales pináculos de dolor fui echado en el suelo, con esta incesante imploración: ¡Confiesa! ¡Confiesa!».

Galileo no fue torturado. Sólo, en dos ocasiones, fue amenazado con la tortura. Su imaginación haría el resto. Este era el objetivo del juicio: el mostrar a los hombres de imaginación que no estaban inmunes al proceso del temor primitivo, fiero e irreversible. Pero Galileo ya había decidido retractarse.

Yo, Galileo Galilei; hijo del finado Vincenzo Galilei, florentino, de setenta años de edad, compareciendo personalmente ante este tribunal, y de rodillas ante vosotros, eminentísimos y reverendísimos señores cardenales, inquisidores generales contra la depravación herética en toda la Cristiandad, teniendo ante mis ojos y tocando con mis manos los santos evangelios, juro que siempre he creído, como lo sigo haciendo y con la ayuda de Dios seguiré creyendo en el futuro todo lo que sostiene, predica y enseña la Santa Iglesia Católica, Apostólica y Romana. Pero considerando que, después de un mandato judicial de éste Santo Oficio, a efecto de que yo abandone la falsa opinión que el Sol es centro del mundo y que es inamovible, y que la Tierra no es el centro del mundo, y que se mueve, y que no debería sostener, defender ni enseñar de ninguna manera, verbalmente o por escrito, la susodicha doctrina, y después de haber sido notificado que tal doctrina contraviene las Sagradas Escrituras, escribí y publiqué un libro en que discuto esta doctrina, ya condenada, y en el cual presento argumentos que a las claras están a su favor, sin presentar solución alguna a ellos; y es por esta razón que el Santo Oficio ha pronunciado vehementemente que soy sospechoso de herejía, es decir, de haber sostenido y creído que el Sol es el centro del mundo y es inamovible, y que la Tierra no constituye el centro y se mueve.

Por la tanto, deseando borrar de las mentes de vuestras eminencias, así como de las de todos los fieles cristianos, esta grave sospecha, concebida razonablemente en mi contra, con el corazón contrito e inquebrantable te, yo abjuro, maldigo y detesto los susodichos errores y herejías, y en general cualquier otro error y ofensa contrario a la dicha Santa Iglesia; asimismo, juro que en lo futuro nunca expresaré ni aseveraré, verbalmente o por escrito, nada que pueda dar ocasión a sospecha similar contra mi persona; y de llegar a tener conocimiento de cualquier herejía o persona sospechosa de herejía, lo denunciaré al Santo Oficio, o al inquisidor y ordinario del lugar en que me encuentre. Juro y prometo, además, acatar y observar íntegramente todas las penitencias que me hayan sido o me sean impuestas por este Santo Oficio. Y, en caso de contravenir (¡que Dios no lo permita!) cualquiera de éstas mis promesas, protestas y juramentos, me someteré a todas las penas y penitencias impuestas y promulgadas por los sagrados cánones y otras constituciones, en general y en particular, contra tales delincuentes. Así sea con la ayuda de Dios y estos santos evangelios que sostengo con mis manos.

Yo, el antedicho Galileo Galilei, he abjurado, jurado, prometido y me he obligado a cumplir lo que antes he declarado y como testimonio de la verdad aquí manifestada, he escrito con mi propia mano el presente documento de mi abjuración, y leído palabra por palabra en Roma, en el Convento de Minerva, este vigésimo segundo día de junio de 1633. Yo Galileo Galilei, he abjurado, con mi propia mano, como antes lo he declarado.

Galileo fue confinado por el resto de su vida en su propia villa en Arcetri, cerca de Florencia, bajo estricto arresto domiciliario. El Papa era implacable. Nada se publicaría. La doctrina prohibida no sería discutida. Galileo no podía ni siquiera hablar con protestantes. El resultado, a partir de entonces, fue el silencio entre los científicos católicos de todas partes. El más grande de los contemporáneos de Galileo, René Descartes, dejó de publicar en Francia y se marchó finalmente a Suecia.

Galileo determinó hacer una cosa. Iba a escribir el libro que el proceso había interrumpido: el

El mensajero celeste

libro sobre las *Nuevas ciencias*, que trataría sobre física, no en las estrellas sino en relación con la materia aquí en la Tierra. Lo terminó en 1636, o sea tres años después del juicio, siendo un anciano de setenta y dos años. Por supuesto que no lo pudo publicar, hasta que finalmente algunos protestantes de Leyden, en los Países Bajos, lo imprimieron dos años después. Para entonces Galileo estaba completamente ciego. Escribió sobre sí mismo:

¡Ay de mí!... Galileo, tu devoto amigo y siervo, lleva un mes total e incurablemente ciego; de modo que este cielo, esta tierra, este universo, que merced a mis notables observaciones y claras demostraciones he aumentado a cien, no, a mil veces más allá de los límites universalmente aceptados por los sabios de todas las épocas anteriores, se han reducido para mí al estrecho alcance de mis propias sensaciones corporales.

Entre aquellos que visitaron a Galileo en Arcetri estaba el joven poeta John Milton, de Inglaterra, quien se preparaba para su obra cumbre, un poema épico que había planeado. Resulta irónico que cuando Milton llegó a escribir el gran poema, treinta años después, estaba completamente ciego, y también dependía de la ayuda de sus hijos para terminarlo.

Al final de su vida, Milton se identificaba a sí mismo con Sansón Agonistes, Sansón entre los filisteos,

Sin ojos, en Gaza, en el molino, entre esclavos,

quien destruyó el imperio filisteo en el instante de su muerte. Y fue eso lo que hizo Galileo, contra su propia voluntad. El resultado del proceso y de la confinación impuso un alto total a la tradición científica en el Mediterráneo. A partir de ese momento, la Revolución Científica se trasladó al norte de Europa. Galileo murió, prisionero aún en su casa, en 1642. El día de Navidad de aquel mismo año, en Inglaterra, nació Isaac Newton.

7 EL MECANISMO MAJESTUOSO

Cuando Galileo escribió las páginas iniciales del *Diálogo sobre dos grandes sistemas del mundo*, hacia 1630, dijo en dos ocasiones que la ciencia italiana (y el comercio) estaba en peligro de ser desplazada por sus rivales septentrionales. Qué cierta resultó esa profecía. El hombre que más tenía él en mente era el astrónomo Johannes Kepler, quien se trasladó a Praga en el año 1600, a los veintiocho años de edad, y pasó allí sus años más productivos. Descubrió las tres leyes que convirtieron el sistema copernicano de una descripción general del Sol y de los planetas en una fórmula matemática precisa.

Kepler demostró primero que la órbita de un planeta sólo es aproximadamente circular; es una amplia elipse en que el Sol se ubica ligeramente descentrado, en uno de los focos. Segundo, que un planeta no viaja a velocidad constante: lo que es constante es la razón a la cual la línea que une al planeta con el Sol barre el área que se encuentra entre su órbita y el Sol. Y tercero, que el tiempo que invierte un planeta particular en recorrer su órbita – su año – aumenta con su distancia (promedio) del Sol de manera absolutamente exacta.

Así estaban las cosas cuando nació Isaac Newton en 1642, el día de Navidad. Kepler había muerto doce años atrás, Galileo en ese mismo año. Y no sólo la astronomía sino toda la ciencia permanecía estática hasta el arribo de una mente nueva que percibía el paso crucial desde las descripciones que habían servido en el pasado hasta las explicaciones dinámicas y causales del futuro.

Hacia el año 1650; el centro de gravedad del mundo civilizado se había mudado de Italia a la Europa septentrional. La razón obvia es que las rutas comerciales del mundo habían cambiado a raíz del descubrimiento y explotación de América. Ya no era el Mediterráneo lo que significaba su nombre: centro del mundo. El centro del mundo se había transferido hacia el norte, como había advertido Galileo, a las costas del Atlántico. Y con un comercio diferente apareció un enfoque político diferente, en tanto que Italia y el Mediterráneo seguían siendo regidos por autocracias.

Nuevas ideas y nuevos principios se imponían entonces en las naciones protestantes y marítimas del norte, Inglaterra y los Países Bajos. Inglaterra se hacía republicana y puritana. Los holandeses atravesaban el Mar del Norte para drenar los pantanos ingleses; las ciénagas se convertían en tierra firme. Se manifestaba un espíritu de independencia en los parajes planos y nebulosos de Lincolnshire, donde Oliver Cromwell reclutó a sus hombres. En 1650, Inglaterra era una república que había decapitado a su monarca reinante.

Cuando Newton nació en casa de su madre en Woolsthorpe, en 1642, había fallecido su padre unos meses antes. Al poco tiempo, su madre volvió a casarse y dejó a Newton al cuidado de una abuela. No era precisamente un niño sin hogar, y sin embargo, a partir de entonces, no volvió a dar muestras de la intimidad que se adquiere en el seno familiar. Durante toda su vida dio la impresión de ser un desamado. Jamás se casó. Nunca pareció capaz de entregarse al calor que hace que los logros sean la consecuencia natural del pensamiento afinado en compañía de los demás. Por el contrario, las consecuciones de Newton fueron solitarias, pues siempre temía que otros se las robasen como (acaso pensaba) le habían robado a su madre. Desconocemos casi por completo su vida escolar y universitaria.

Los dos años que siguieron a la graduación de Newton en Cambridge – 1665 y 1666 – fueron años de epidemias; de la peste y, cuando la universidad se cerraba, Newton pasaba el tiempo en su hogar. Su madre había enviudado y regresado a Woolsthorpe. Aquí descubrió Newton su mina de oro: la matemática. Ahora que sus cuadernos han sido estudiados, está claro que no había sido bien enseñado y que había tenido que adquirir empíricamente la mayor parte de sus conocimientos matemáticos. Después se encauzó hacia los descubrimientos originales. Inventó las fluxiones, que actualmente denominamos cálculo. Newton reservó las fluxiones como su arma secreta; descubría los resultados con ellas, mas los anotaba en matemática convencional.

Aquí también concibió Newton la teoría de la gravitación universal, y la puso a prueba enseguida al calcular el movimiento de la Luna alrededor de la Tierra. Para Newton: la Luna era un símbolo poderoso. Si ésta sigue su órbita porque es atraída por la Tierra – razonaba –, entonces la Luna es como una pelota (o como una manzana) que ha sido lanzada con gran fuerza: está cayendo hacia la Tierra, pero a velocidad tal que nunca llega a chocar con ella; sigue girando alrededor de la tierra porque ésta es redonda: ¿Cómo de grande será la fuerza de atracción?

Deduje que las fuerzas que mantienen a los planetas en sus órbitas deben ser recíprocas a los cuadrados de su distancia de los centros alrededor de los que giran; y, por tanto, comparé la fuerza que se requiere para mantener a la Luna en su órbita con la fuerza de gravedad en la superficie de la Tierra, y encontré que corresponden bastante aproximadamente.

La excesiva modestia es característica de Newton; de hecho, sus cálculos a primera aproximación proporcionaron como período de la Luna un valor cerca del real, unos 27¼ días.

Cuando los cálculos salen así de bien, uno sabe, al igual que Pitágoras, que un secreto de la naturaleza se le ha descubierto en la palma de la mano. Una ley universal rige el mecanismo majestuoso de los cielos, en que el movimiento de la Luna constituye un suceso armonioso. Es una llave que uno ha introducido en el cerrojo y a la que ha dado la vuelta, y la naturaleza ha cedido en cifras la confirmación de su estructura. Mas, si ese uno es Newton, no lo publica.

Cuando se reincorporó a Cambridge en 1667, Newton fue hecho miembro de la junta de gobierno de su colegio, Trinity. Dos años después, su profesor renunció a la cátedra de matemática. Es posible que no lo hiciera explícitamente en favor de Newton – como antes se creía – pero el resultado fue el mismo: Newton fue contratado. Tenía a la sazón veintiséis años.

El primer trabajo que Newton publicó fue sobre óptica. Fue ideado como todas sus grandes ideas «durante los dos años de epidemia de la peste de 1665 y 1666, ya que en ese entonces estaba en la cumbre de mi etapa inventiva». Newton no estaba entonces en su casa, sino en Trinity, adonde había regresado durante un breve intervalo de menor intensidad de la epidemia de peste.

Es curioso encontrar que un hombre al que consideramos como el maestro de la explicación del universo material haya empezado experimentando con la luz. Hay dos razones que lo explican. La primera y principal es que se vivía en un mundo marítimo, en el que los mejores cerebros de Inglaterra se ocupaban de todos los problemas que plantea la conquista de los mares. Los hombres como Newton no creían estar realizando una investigación técnica, por supuesto; ésta hubiera sido una explicación demasiado ingenua de sus intereses. Sentían atracción por los temas que habían sido polemizados por sus predecesores importantes, como ha ocurrido siempre con los jóvenes. El telescopio era un problema saliente en ese entonces. Y, de hecho, Newton se dio cuenta por vez primera del problema de los colores en la luz blanca cuando pulía unas lentes para su propio telescopio.

Mas resulta evidente que debajo de esto yace una razón más fundamental. Los fenómenos físicos consisten siempre en una interacción de la energía con la materia. Podemos ver la materia merced a la luz; somos conscientes de la presencia de la luz por su interrupción por la materia. Y esta idea constituye el mundo de todo físico notable, que encuentra que no puede

profundizar en el conocimiento de una sin la otra.

En 1666 Newton empezó a considerar qué causaba las franjas que aparecen en el borde de una lente, y observó el efecto simulándolo por medio de un prisma. Los bordes de cada lente constituyen un pequeño prisma. Ahora bien, el hecho de que un prisma produce luces de colores es un lugar común, cuando menos tan antiguo como Aristóteles. Pero, por desgracia, igualmente antiguas eran las explicaciones de la época, pues no eran análisis cualitativos. Afirmaban simplemente que la luz blanca atraviesa el vidrio y que se oscurece un poco al pasar por el extremo angosto, de manera que se convierte únicamente en roja; que se oscurece un poco más donde el vidrio sea más grueso, por lo cual se torna verde; que se oscurece aún más en el punto de mayor grosor del cristal, por lo cual se convierte en azul. ¡Maravilloso!, pues aunque esta secuencia no explica absolutamente nada, suena plausible. El aspecto obvio que no explica, como Newton señaló, se hizo evidente por sí mismo en el momento en que Newton permitió el paso de la luz solar por una hendidura, para atravesar después el prisma. Fue lo siguiente: la luz solar entra en forma de un disco circular, pero sale en una forma elongada.

Era sabido por todos que el espectro era de forma elongada; esto mismo había sido conocido durante el último milenio, de algún modo, por aquellos que habían tenido la curiosidad de observarlo. Pero se requería una mente poderosa como la de Newton para romperse la cabeza en explicar lo obvio. Y Newton afirmaba que lo obvio es que la luz no se modifica; la luz se separa físicamente. Este es un concepto fundamentalmente nuevo en la explicación científica, totalmente inaccesible a sus contemporáneos. Robert Hooke argumentaba con él, todos los físicos argumentaban con él; hasta que Newton se hartó de todas las polémicas y escribió a Leibniz.

Estuve tan acosado con todas las discusiones surgidas a raíz de la publicación de mi teoría de la luz, que culpé a mi propia imprudencia de haber sacrificado una bendición tan sustancial como es mi propia tranquilidad para perseguir una sombra.

A partir de ese momento rehusó participar de manera alguna en el debate – y particularmente frente a contendientes como Hooke –. No publicó su libro de óptica hasta 1704, un año después de la muerte de Hooke, previa advertencia al presidente de la Royal Society:

No tengo intención de indagar más en asuntos de filosofía y, por tanto, espero que usted no lo tome a mal si nunca me vuelve a encontrar haciendo más en ese aspecto.

Pero empecemos por el principio, con las propias palabras de Newton. En 1666

me procuré un prisma triangular de vidrio, para estudiar los celebrados fenómenos de los colores. Y habiendo con este fin oscurecido mi alcoba y hecho un pequeño agujero en las contraventanas, para admitir una cantidad conveniente de luz solar, coloqué mi prisma frente al haz de luz de modo que éste pudiera ser refractado a la pared opuesta. Al principio, fue muy divertido observar los colores intensos y vívidos que por este medio se producían; pero después me dediqué a considerarlos más seriamente, y me sorprendió ver que era oblonga su forma, la que, de acuerdo con las leyes establecidas de la refracción, sería de esperarse que fuera circular.

Y vi... que la luz, que tendía hacia [un] extremo de la imagen, sufría una refracción considerablemente mayor que la que tendía hacia el otro. Así se percibía que la verdadera causa de la longitud de esa imagen era precisamente que la luz consiste de rayos de refractibilidad diferente, los cuales, sin considerar su diferencia de incidencia, eran, de acuerdo con su grado de refractibilidad, transmitidos hacia puntos diferentes de la pared.

Ya estaba explicada la elongación del espectro; era causada por la separación y dispersión de los colores. El azul se desvía o se refracta más que el rojo, y eso constituye una propiedad absoluta de los colores.

Después coloqué otro prisma de modo tal que la luz pudiese pasar también a través de él y ser refractada de nuevo antes de proyectarse en la pared. Hecho esto, tomé en la mano el primer prisma y lo giré lentamente sobre su propio eje, haciendo que las distintas partes de la imagen pasaran sucesivamente, de manera que yo pudiese observar en qué puntos de la pared las refractaría el segundo prisma.

El mecanismo majestuoso

Cuando cualquier tipo de rayo se separaba de los demás, tal rayo retenía obstinadamente su color, a pesar de mis empeñados esfuerzos por cambiarlo.

Esto destruye la creencia tradicional; pues si la luz fuese modificada por el vidrio, el segundo prisma debería producir colores nuevos y convertir el rojo en verde o azul. Newton lo denominó experimento crítico. Este demostró que, una vez que los colores están separados por la refracción, ya no pueden modificarse más.

He refractado la luz con prismas y he reflejado con ella cuerpos que a la luz del día eran de otros colores; he interceptado la luz con la capa coloreada de aire entre dos placas comprimidas de vidrio; la he transmitido a través de medios coloreados y de medios irradiados con otras clases de rayos; terminando de diversas formas; y aún así nunca pude producir otro color nuevo.

Pero la composición más maravillosa y sorprendente fue la de la blancura. No hay ninguna clase de rayos que por sí solos puedan manifestar esto. Se encuentra siempre compuesta, y en su composición se requiere la participación de todos los susodichos colores primarios mezclados en la proporción adecuada. Con frecuencia he observado con admiración que, al hacer que todos los colores del prisma converjan, por tanto, se vuelvan a mezclar, reproducen una luz entera y perfectamente blanca.

En vista de lo cual puede aseverarse que la blancura es el color usual de la luz, puesto que ésta es un agregado confuso de rayos imbuídos con toda suerte de colores, en virtud de ser disparados indiscriminadamente de las distintas partes de los cuerpos luminosos.

Esta carta fue escrita a la Royal Society poco después de ser Newton elegido miembro en 1672. Se había destacado como pionero de un nuevo estilo de experimentación, que entendía cómo formar una teoría y cómo probarla definitivamente contra otras alternativas. Estaba bastante ufano de sus realizaciones.

Un naturalista apenas esperaría que la ciencia de los colores resultara ser matemática; no obstante, me atrevo a afirmar que hay tanta certidumbre en esta como en cualquier otra parte de la óptica.

Newton empezaba a tener tanta fama en Londres como en la universidad; y un sentido del color parecía difundirse en el mundo metropolitano, como si el espectro esparciera su luz sobre las sedas y las especias que los mercaderes traían a la capital.

La paleta de los pintores se hizo más variada, se despertó el gusto por los multicolores objetos orientales y se hizo natural el uso de múltiples y coloridos vocablos. Esto se nota claramente en la poesía de la época. Alexander Pope, quien contaba dieciséis años cuando Newton publicó su *Optica*, era sin duda un poeta menos voluptuoso que Shakespeare y, sin embargo utilizó tres o cuatro veces más palabras referentes a colores que Shakespeare, y las usa diez veces más frecuentemente. Por ejemplo, la descripción que hace Pope de los peces del Támesis,

*La perca, de los ojos brillantes y aletas de tinte tiriano,
la anguila plateada, pasaron en masa lustrosas,
la carpa amarilla, con escamas salpicadas de oro,
las veloces truchas, distinguidas por manchas carmesí,*

sería inexplicable si no la reconociésemos como un mero ejercicio en colores.

Una fama metropolitana significaba, inevitablemente, nuevas controversias. Los resultados que Newton esbozó en cartas a científicos londinenses fueron divulgados. Así se inició una larga y amarga disputa, a partir de 1676, con Gottfried Wilhelm Leibniz, concerniente a la prioridad en el descubrimiento del cálculo. Newton nunca aceptaría que Leibniz, un reconocido matemático, lo hubiera concebido independientemente.

Newton pensó en retirarse completamente de la ciencia a su claustro de Trinity. La Gran Corte era un marco amplio para un erudito en situación favorable; contaba con su propio pequeño laboratorio, así como con su propio jardín. En el patio de Neville se edificaba la gran biblioteca diseñada por Wren. Newton aportó cuarenta libras para la obra. Parecía que le agradaría la vida

profesoral dedicada a los estudios privados. Pero, a fin de cuentas, de haber rehuido el alboroto de los científicos londinenses, éstos le habrían seguido hasta Cambridge para debatir con él.

Newton había concebido la teoría de la gravitación universal durante el año de epidemia de 1666 y la había utilizado, muy exitosamente, para describir el movimiento de la Luna alrededor de la Tierra. Parece insólito que en los veinte años subsiguientes no hiciera prácticamente ningún intento por publicar algo concerniente al problema mayor que representa el movimiento de la Tierra alrededor del Sol. El escollo es desconocido, pero los hechos son evidentes. No surgió hasta 1684, en Londres, una polémica entre sir Christopher Wren, Robert Hooke y el joven astrónomo Edmond Halley, como resultado de la cual éste último visitó a Newton en Cambridge.

Después de estar un tiempo reunidos, el doctor (Halley) le pidió su opinión acerca de la curva que los planetas deben describir, suponiendo que la fuerza de atracción hacia el Sol sea recíproca al cuadrado de la distancia entre ambos. Sir Isaac respondió inmediatamente que debería ser una elipse. El doctor, lleno de sorpresa y regocijo, le preguntó que cómo lo sabía. «Pues», dijo, «porque lo he calculado». En ese momento, el Dr. Halley le solicitó sus cálculos sin ninguna demora. Sir Isaac buscó infructuosamente entre sus papeles; pero le prometió rehacer el cálculo y enviárselo posteriormente.

Transcurrieron tres años, desde 1684 hasta 1687, antes de que Newton desarrollase la prueba, la que dio por resultado los *Principios*. Halley promovió, consiguió por medio de halagos y hasta financió los *Principios*, aceptados por Samuel Pepys, como presidente de la Royal Society, en 1687.

Al tratarse de un sistema del mundo, y como era natural, causó sensación desde el momento de su publicación. Es una descripción maravillosa del mundo, condensada en un solo grupo de leyes. Pero mucho más que esto, marca un hito del método científico. Consideramos la presentación de la ciencia como una serie de proposiciones, una tras otra, derivadas de la matemática de Euclides. Y así es. Pero sólo cuando Newton la convirtió en sistema físico, al cambiar el estado estático de la matemática por el dinámico, empezó efectivamente el método científico moderno a ser riguroso.

Y en el libro podemos ver hasta cuáles fueron los escollos que le impidieron continuar estos estudios, después de lo bien que había salido su determinación de la órbita de la Luna. Por ejemplo, estoy convencido de que uno de ellos fue el no poder resolver el problema de la Sección 12: «¿Cómo atrae una esfera a una partícula?» En Woolsthorpe, había hecho cálculos aproximados, tratando a la Tierra y a la Luna como partículas. Pero ambas (así como el Sol y los planetas) son grandes esferas; ¿puede reemplazarse con precisión la atracción gravitacional entre ambos por una atracción entre sus centros? Sí, pero sólo (lo que resulta irónico) en el caso de atracciones que decrecen a razón del cuadrado de la distancia. Y en esto podemos apreciar las inmensas dificultades matemáticas que Newton tuvo que vencer antes de poder publicar.

Cuando era desafiado con cuestiones como, «No ha explicado usted por qué actúa la gravedad», «No ha explicado usted cómo se efectúa la acción a distancia», o incluso, «No ha explicado usted por qué se comportan así los rayos de luz», siempre respondía en los mismos términos: «Yo no formulo hipótesis». Con lo cual quería decir: «Nada tengo que ver con la especulación metafísica. Yo formulo una ley y derivó los fenómenos de ella». Esto fue exactamente lo que afirmó en su libro de óptica, y precisamente lo que no fue comprendido por sus contemporáneos como una nueva visión de la óptica.

Ahora bien, si Newton hubiera poseído un carácter sencillo; aburrido, prosaico, todo eso se explicaría fácilmente. Pero deseo hacer notar que no era así. Poseía realmente un temperamento extraordinario, verdaderamente impetuoso. Practicaba la alquimia. Escribió, secretamente, tomos enormes acerca del Libro de la Revelación. Estaba convencido de que la ley de los cuadrados inversos se podía hallar, efectivamente, en Pitágoras. Y para un hombre de tales características, que en privado estaba imbuido de estas especulaciones metafísicas y místicas, descabelladas, el presentar este rostro público y afirmar, «Yo no formulo hipótesis», resulta una expresión extraordinaria de su carácter secreto. William Wordsworth escribió en *El preludio* esta vívida frase que lo describe perfectamente,

Newton, con su prisma y su muda faz.

Su rostro público tenía mucho éxito. Naturalmente, Newton no pudo ser ascendido en la universidad, ya que era unitario – no aceptaba la doctrina de la Trinidad que incomodaba tanto a los científicos de la época –. Por lo mismo no podía convertirse en clérigo y, en consecuencia, tampoco podía aspirar a ser Maestro de Colegio. Así, en 1696, Newton se marchó a Londres a la Casa de la Moneda. Con el tiempo, se convirtió en Maestro de ésta. Después de la muerte de Hooke, aceptó la presidencia de la Royal Society en 1703. Fue armado caballero por la Reina Ana; en 1705. Y hasta su muerte, en 1727, dominó el panorama intelectual londinense. El niño provinciano resultó un éxito.

Lo lamentable es que yo creo que fue un éxito, pero no según su propio criterio, sino el del siglo XVIII. Es triste que Newton aceptara el criterio de esa sociedad, cuando estuvo dispuesto a convertirse en dictador de los concilios del establecimiento y contarlos como un éxito.

Un dictador intelectual no es una figura simpática aunque se haya elevado a partir de humildes orígenes. No obstante, en sus escritos privados Newton no era tan arrogante como su apariencia pública, tan frecuente y variadamente representada, le hacía parecer.

El explicar toda la naturaleza constituye una tarea demasiado difícil para cualquier hombre y aun para cualquier época. Es mucho mejor hacer un poco con certidumbre, y dejar el resto para los que vengan después de ti, que explicar todas las cosas.

Y en una frase más conocida expone lo mismo, con menos precisión pero con un matiz de patetismo.

Desconozco lo que yo pueda parecer al mundo; pero me parece a mí que sólo he sido como un niño jugando en una playa, que se divierte al encontrar de vez en cuando una guija más lisa o una concha más bonita que de costumbre, en tanto que el enorme océano de la verdad yace ante él sin ser descubierto.

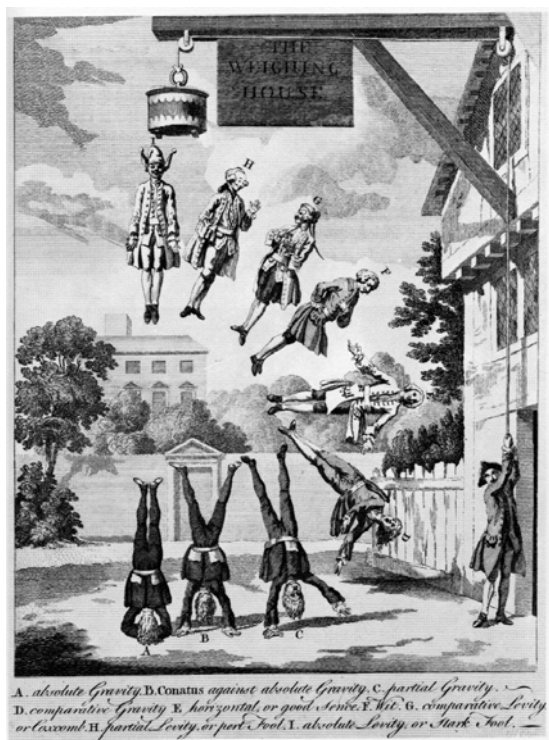


Figura 32. Nos parece irreverente el que Newton haya sido durante su vida objeto de sátiras.
Caricatura de la época satirizando la teoría de la gravedad de Newton.

El mecanismo majestuoso

En la época en que Newton contaba más de setenta años, se realizaba poco trabajo verdaderamente científico en la Royal Society. La Inglaterra del reinado de los Jorges se preocupaba por las finanzas (estos años corresponden a la controversia acerca de los mares del sur), por la política y por el escándalo. Hombres de negocios ambiciosos se daban cita en los cafés para crear empresas que explotarían inventos ficticios. Los escritores satirizaban a los científicos, en parte por rencor, en parte por motivos políticos, ya que Newton era un pilar de las instituciones gubernamentales.

Durante el invierno de 1713, un grupo descontento de escritores *Tory* (conservadores) formaron una sociedad literaria. Hasta la muerte de la reina Ana, acaecida en el siguiente verano, se reunían frecuentemente en las habitaciones del médico de ésta, el Dr. John Arbuthnot, en el palacio de St. James. La sociedad se denominaba el *Scriblerus Club*, y se dedicó a ridiculizar a las sociedades eruditas de la época. El ataque de Jonathan Swift a la comunidad científica en el tercer libro de *Los viajes de Gulliver*, surgió del seno del club. El grupo de *tories* que posteriormente ayudaría a John Gay a satirizar al gobierno en *La ópera del mendigo*, también colaboró con él en 1717 en la obra de teatro *Tres horas después de la boda*. Aquí el objeto de la sátira es un viejo y pomposo científico llamado Dr. Fósil. Veamos algunas escenas típicas de la obra, entre el científico y un aventurero, Plotwell, que está teniendo una aventura con la señora de la casa.

Fósil: *He ofrecido a Lady Longfort mi fragmento de etites. La pobre dama está por abortar y me alegro de habérselo prometido. ¡Ah! ¡Quién está aquí! No me agrada el aspecto del fulano. Pero no debo ser demasiado riguroso.*

Plotwell: *Illustrissime domine, huc adveni –*

Fósil: *Illustrissime domine – non ussus sum loquere Latinam – si no podéis hablar inglés no podremos sostener una conversación lingual.*

Plotwell: *No puedo hablar más que un poco de inglés. Mucho he oído de la fama de una gran luminaria de todas las artes y ciencias, del ilustre doctor Fósil. Querría entablar comunicación (como la llamáis) e intercambiar algunas de mis cosas por alguna de las suyas.*

El primer tema gracioso es, naturalmente, la alquimia: la jerga técnica es perfectamente correcta siempre:

Fósil: *Os ruego me digáis; señor, ¿de qué universidad provenís?*

Plotwell: *De la famosa universidad de Cracovia...*

Fósil: *... ¿Mas de qué Arcana sois maestro, señor?*

Plotwell: *Ved ahí, señor, aquella caja de tabaco.*

Fósil: *Tabaquera.*

Plotwell: *Así es, tabaquera. Es de oro puro.*

Fósil: *¿Y qué?*

Plotwell: *¿Y qué? Yo mismo elaboro ese oro, del plomo del gran templo de Cracovia.*

Fósil: *¿Mediante qué operaciones?*

Plotwell: *Por calcinación; reverberación; purificación; sublimación; amalgamación; precipitación; volatilización.*

Fósil: *Tened cuidado con lo que aseveráis. La volatilización del oro no es un proceso obvio.*

Plotwell: *No necesito informar al ilustre doctor Fósil de que todos los metales no son sino oro inmaduro.*

El mecanismo majestuoso

Fósil: *Habláis como un filósofo. Y en consecuencia debería de haber una ley parlamentaria contra la explotación de las minas de plomo, así como contra el cortar la madera verde.*

Las referencias científicas surgen ahora con rapidez: hasta el complejo problema de hallar la longitud en alta mar, hasta la invención de las fluxiones o del cálculo diferencial,

Fósil: *De momento no estoy con ánimo para experimentos.*

Plotwell: *¿Trabajáis las longitudes, señor?*

Fósil: *No lidio con imposibilidades. Yo sólo busco el gran elixir.*

Plotwell: *¿Qué opináis acerca del nuevo método de fluxión?*

Fósil: *No conozco más que el del mercurio.*

Plotwell: *Ja, ja. Me refiero a la fluxión de cantidad.*

Fósil: *La mayor cantidad que jamás he conocido son tres cuartos al día.*

Plotwell: *¿Existe secreto de la hidrología, zoología, mineralogía, hidráulica, acústica, neumática, logaritmotecnia, que queráis os explique?*

Fósil: *Todo ello es ajeno a mi condición.*

Nos parece irreverente el que Newton fuese en vida objeto de sátiras, así como de fuertes críticas. Pero es un hecho que toda teoría, por majestuosa que sea, contiene suposiciones ocultas susceptibles al desafío y, de hecho, con el tiempo se hace necesario el reemplazarlas. Y la teoría de Newton, bella por su aproximación a la naturaleza, estaría propensa a ese mismo defecto. Newton lo reconocía así. Su primera suposición fue ésta que él afirmó al principio, «Considero que el espacio es absoluto». Con ello quería decir que el espacio es por doquiera plano e infinito como lo es en nuestro propio barrio. Y Leibniz criticó esto desde un principio, y con razón. Después de todo, esto no es probable ni siquiera en nuestra propia experiencia. Estamos habituados a vivir localmente en un espacio plano; pero en cuanto nos enfrentamos con la magnitud de la Tierra, sabemos que esto no es tan contundente.

La tierra es esférica; así que un punto del polo norte puede ser visto por dos observadores desde el ecuador, muy distantes entre sí, pudiendo cada uno de ellos afirmar, «Estoy mirando hacia el norte». Tal estado de cosas resulta inconcebible para el habitante de una tierra plana, o para quien cree que toda la tierra es tan plana como le parece desde cerca. En realidad, Newton se estaba comportando como creyente en una tierra plana a escala cósmica: navegando en el espacio con una regla en una mano y un reloj de bolsillo en la otra, midiendo el espacio como si fuese igual aquí y en todas partes. Y esto no es necesariamente así.

No es que el espacio tenga que ser esférico en todas partes, es decir; que posea una curvatura positiva. Puede ser que el espacio sea abultado y ondulado localmente. Podemos concebir un tipo de espacio que tenga puntos de silla de montar, sobre los cuales se deslicen cuerpos masivos con mayor facilidad en algunas direcciones que en otras. Los movimientos de los cuerpos celestes deben seguir siendo iguales, por supuesto; podemos verlos y nuestras explicaciones deben ajustarse a ellos. Mas las explicaciones corresponderían entonces a una clase diferente. Las leyes que rigen a la Luna y a los planetas serían geométricas y no gravitacionales.

Todo eso era en ese entonces especulación para un futuro lejano, e, incluso si hubiera sido promulgado, los matemáticos de la época hubieran sido incapaces de versar sobre ello. Mas las mentes clarividentes y filosóficas estaban conscientes de que, al concebir el espacio como una gran red, Newton había conferido a nuestra percepción de las cosas una simplicidad irreal. En contraste, Leibniz había expresado las proféticas palabras: «Yo concibo el espacio como algo puramente relativo, como lo es el tiempo».

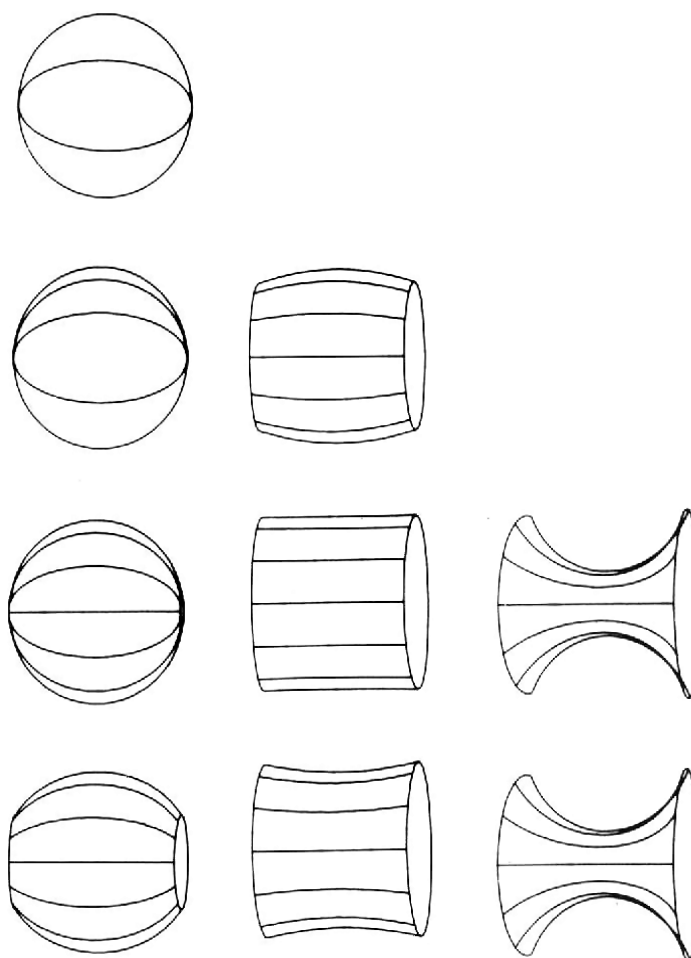


Figura 33. Podemos concebir un tipo de espacio que tenga puntos de silla de montar. Gráfica de computadora de la inversión de una esfera para producir una curvatura negativa.

El tiempo es el otro absoluto en el sistema de Newton. El tiempo es imprescindible para medir el firmamento en principio, desconocemos a qué distancia se encuentran las estrellas; sólo sabemos en qué momento cruzan nuestra línea visual. Así, el mundo marítimo clamaba por la perfección en dos grupos de instrumentos: telescopios y relojes.

Primero, entonces, perfeccionamientos en el telescopio. Eso está ahora centrado en el nuevo Observatorio Real de Greenwich. El ubicuo Robert Hooke había planeado eso cuando reconstruía Londres con sir Christopher Wren, después del gran incendio. El marino que tratase de fijar su posición – longitud y latitud – desde una costa lejana, equiparía sus lecturas de las estrellas, a partir de entonces, con las de Greenwich. El meridiano de Greenwich se convirtió en el punto fijo del mundo tempestuoso de todo marino: el meridiano y la hora de Greenwich.

La segunda ayuda esencial para fijar la posición era el mejoramiento del reloj. Este se convirtió en el símbolo maestros albañiles de la Edad Media. Es agradable pensar que el reloj tal y como lo conocemos, ese marcapaso sujetado a nuestro pulso, ese dictador de bolsillo de la vida moderna, haya inspirado la destreza artesanal desde la Edad Media, de manera pausada. Los fabricantes de relojes de aquel tiempo no deseaban saber la hora del día, sino reproducir los movimientos de las estrellas.

El universo de Newton funcionó sin problemas durante cerca de doscientos años. Si su fantasma se hubiese presentado en Suiza en cualquier momento antes de 1900, todos los relojes

hubieran repicado el aleluya al unísono. Y sin embargo, justamente después de 1900, en Berna, a menos de ciento cincuenta metros de la antigua torre del reloj, se instaló un joven que habría de cambiarlo todo en pocos años: Albert Einstein.

Las teorías sobre el tiempo y la luz estaban ya a punto de desplomarse. Fue en 1881 que Albert Michelson realizó un experimento (el cual repitió con Edward Morley seis años después) en que dirigió la luz en direcciones diferentes, y se sorprendió al descubrir que, aunque moviese el aparato, la velocidad de la luz no sufría ningún cambio. Este fenómeno iba en contra de las leyes de Newton. Y por ese pequeño soplo en el corazón de la física, hacia 1900, los científicos empezaron a dudar y a inquietarse.

No hay certeza de que el joven Einstein estuviese totalmente al corriente de lo anterior. No había sido un estudiante universitario muy atento. Pero de lo que sí hay certeza es de que, en la época en que se instaló en Berna, ya se había preguntado mucho tiempo atrás, desde su adolescencia, cómo se vería nuestra experiencia desde el punto de vista de la luz. La respuesta a esta pregunta está pletórica de paradojas, lo que la hace más difícil. Y no obstante, como sucede con todas las paradojas, lo más difícil no es dar la respuesta sino concebir la pregunta. La genialidad de hombres como Newton y Einstein estriba en ello: formulan preguntas transparentes e inocentes, cuyas respuestas resultan catastróficas. El poeta William Cowper llamó a Newton «sabio añiado» por esa cualidad, y la descripción encaja perfectamente con el aire de sorpresa ante el mundo que Einstein llevaba en el rostro. Al hablar de viajar en un rayo de luz o de caer en el espacio, Einstein plasmaba siempre imágenes bellas y sencillas de dichos principios; y yo voy a seguir su ejemplo. Iré al pie de la torre del reloj y subiré al tranvía que él tomaba diariamente para ir a su trabajo como empleado de la Oficina Suiza de Patentes.

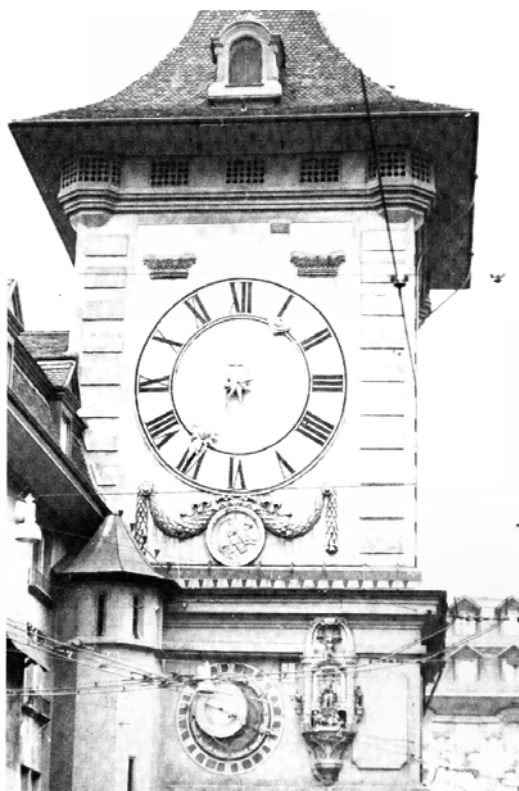


Figura 34. El universo de Newton funcionó sin problemas cerca de doscientos años. Si su fantasma se hubiese presentado en Suiza en cualquier momento antes de 1900, todos los relojes hubieran repicado el aleluya al unísono. Las teorías sobre el tiempo y la luz estaban ya a punto de desplomarse.

Torre del reloj de Berna.

La idea de Einstein cuando adolescente era ésta: «¿Cómo se vería el mundo si yo viajase en un rayo de luz?» Supongamos que este tranvía se va alejando del reloj en el mismo haz de luz mediante el cual vemos la hora que marca el reloj. Entonces, por supuesto, el reloj estaría fijo en el espacio. Yo, el tranvía, esta caja viajando sobre el rayo de luz estaría fija en el tiempo. El tiempo se detendría.



*Figura 35 Su trabajo como funcionario en la Oficina de Patentes Suiza.
Albert Einstein en su escritorio en la Oficina de Patentes en Berna, 1905.*

Permítaseme aclarar lo anterior. Supongamos que el reloj indica «mediodía» cuando parto. Me alejo ahora 300.000 kilómetros de él a la velocidad de la luz; esto me deberá llevar un segundo. Pero la hora del reloj, como yo la veo, sigue marcando «mediodía», porque el haz de luz que procede del reloj tarda exactamente lo mismo que yo en llegar. Por lo que respecta al reloj como yo lo veo y al universo dentro del tranvía, al mantenerme a la velocidad de la luz me he resguardado del paso del tiempo.

Esto es una paradoja extraordinaria. No me adentraré en sus implicaciones ni en otras que preocupaban a Einstein. Me concentraré únicamente en este punto: que si yo viajara en un rayo de luz, entonces el tiempo acabaría para mí. Y esto debe significar que, conforme me aproximo a la velocidad de la luz (que es lo que voy a simular en el tranvía), me encuentro solo en mi caja de tiempo y espacio, que se aparta cada vez más de las normas que me rodean.

Tales paradojas ponen en claro dos cosas. Una evidente: no existe el tiempo universal. Y otra más sutil: es muy diferente la experiencia del viajero a la del que queda atrás, así como la de cada uno de nosotros en su propia trayectoria. Son consistentes mis experiencias dentro del tranvía: descubro las mismas leyes, las mismas relaciones entre tiempo, distancia, velocidad, masa y fuerza, que descubren todos los demás observadores. Mas los valores reales que obtengo para el tiempo, la distancia y demás, no son los mismos que obtiene el hombre que permanezca en el pavimento.



*Figura 36 "Cómo se vería el mundo si yo viajase en un rayo de luz."
Albert Einstein a los catorce años.*

Este es el meollo del Principio de la Relatividad. Y la pregunta automática es, «Bien, pero, ¿qué es lo que mantiene juntas su caja y la mía?» El paso de la luz: la luz es el vehículo de información que nos une. Y por ello el hecho experimental crucial que constituye un enigma desde 1881 es que cuando intercambiamos señales descubrimos que la información pasa entre nosotros siempre a la misma velocidad. Obtenemos siempre el mismo valor para la velocidad de la luz. Y entonces, naturalmente, tiempo, espacio y masa deberán ser diferentes para cada uno de nosotros, pues deberán proporcionar, consistentemente, las mismas *leyes* para mí, aquí en el tranvía, que para el hombre parado afuera, no obstante, el mismo *valor* para la velocidad de la luz.

La luz y las otras radiaciones son señales que se esparcen a partir de un suceso, como un murmullo, por todo el universo, y no hay otra forma en que la noticia del suceso pueda diseminarse que aquellas. La luz o la onda de radio o los rayos X constituyen el portador ideal de noticias o mensajes, formando una red de información básica que une al universo material. Aunque el mensaje que queremos enviar sea simplemente la hora, no podemos enviarlo de un lugar a otro con mayor celeridad que por medio de la luz o de la onda de radio que la transporta. No existe tiempo universal para el mundo, ni señal del meridiano de Greenwich por la cual ajustar nuestros relojes, de no contar inextricablemente con la velocidad de la luz.

En esta dicotomía, algo tiene que ceder. Pues la trayectoria de un rayo de luz (como la trayectoria de una bala) no parecerá igual a un observador casual que a quien lo disparó en pleno movimiento. La trayectoria parecerá más larga al observador; y, en consecuencia, el tiempo que tarda la luz en recorrer su trayectoria le deberá parecer mayor, si ha de obtener el mismo valor por la velocidad.

¿Es esto cierto? Sí Sabemos ahora bastante acerca de los procesos cósmicos y atómicos como para apreciar que esto es cierto a altas velocidades. Si yo estuviese viajando efectivamente a, digamos, la mitad de la velocidad de la luz, entonces la duración del viaje en tranvía de Einstein, que yo he percibido en mi reloj como poco más de tres minutos, sería medio minuto más larga para el observador en el pavimento.

Vamos a acelerar el tranvía a la velocidad de la luz para constatar las apariencias. El efecto de la relatividad es el de cambiar de forma a las cosas. (Existen también cambios de color, pero no se deben a la relatividad) Los tejados de los edificios parecen inclinarse hacia dentro y hacia adelante. Los edificios parecen estar más apretujados. Estoy viajando horizontalmente, de modo que las distancias horizontales parecen más cortas; pero las alturas permanecen iguales. Los automóviles y la gente se distorsionan de igual manera: esbeltos y altos. Y lo que para mí es real al mirar hacia fuera es real para el hombre de afuera mirando hacia dentro. El mundo de relatividad de *Alicia en el país de las maravillas* es simétrico. El observador ve el tranvía aplastado contra sí: esbelto y alto.

Esta es, evidentemente, una visión del mundo completamente distinta de la que Newton tenía. Para Newton, el tiempo y el espacio formaban un esquema absoluto, dentro del cual los sucesos materiales del mundo seguían su curso con imperturbable orden. Su visión del mundo partía de la perspectiva de Dios: el mundo parece igual a todo observador, doquiera que se encuentre o como quiera que viaje. En contraste, la visión de Einstein es la visión del hombre, en la cual lo que yo veo y lo que usted ve es relativo a cada cual, es decir: a nuestra propia ubicación y velocidad. Y esta relatividad no puede ser eliminada. No podemos saber lo que es el mundo en sí mismo, pues sólo podemos comparar cómo nos parece a cada uno de nosotros, mediante el procedimiento práctico del intercambio de mensajes. Yo en mi tranvía y usted en su silla no podemos compartir una visión divina e instantánea de los sucesos; sólo podemos comunicar el uno al otro nuestras propias visiones. Y la comunicación no es instantánea; no podemos suprimir el lapso de tiempo básico de todas las señales, que es establecido por la velocidad de la luz.

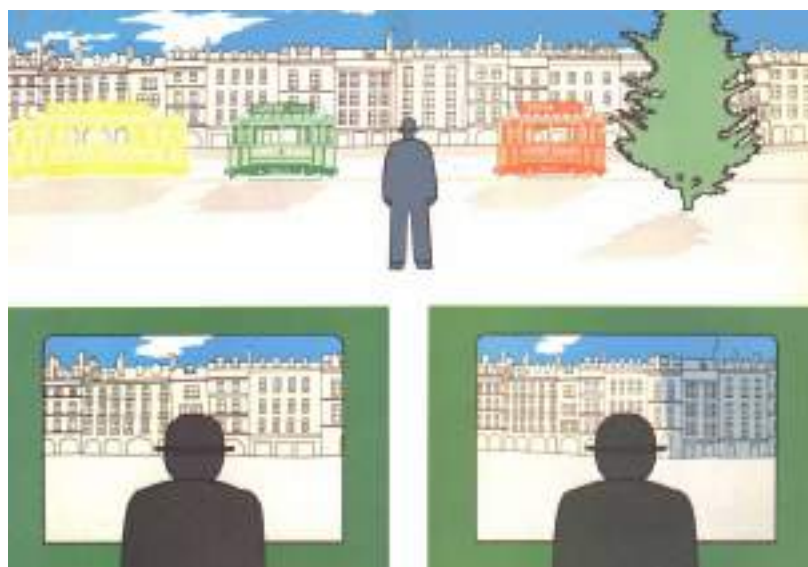


Figura 37. No existe tiempo universal para el mundo, ni señal del meridiano de Greenwich por la cual ajustar nuestros relojes, de no contar inextricablemente con la velocidad de la luz. El observador en el pavimento ve el tranvía estacionado a la izquierda sin distorsión. Percibe los otros dos tranvías como altos y angostos: porque se mueven a gran velocidad. Uno se ve azul porque se mueve hacia él, y el otro rojo porque se está alejando; pero estos no son efectos de la relatividad. El observador en el tranvía estacionado ve las casas sin distorsión, en el tranvía en movimiento las ve altas y angostas.

El tranvía no alcanzaba la velocidad de la luz. Se detenía, muy suavemente, cerca de la Oficina de Patentes. Einstein se apeaba, realizaba un día de trabajo y con frecuencia pasaba las tardes en el café Bollwerk. El trabajo en la oficina no era muy abrumador. A decir verdad, la mayoría de las solicitudes nos parecen ahora bastante simplonas; un diseño para una nueva pistola de juguete; una solicitud para el control de la corriente alterna, de la cual Einstein escribió sucintamente, «Es incorrecta, inexacta y oscura».

Por las tardes en el café Bollwerk solía hablar un poco con sus colegas sobre física. Fumaba

cigarros y bebía café. Pero era un hombre que pensaba por sí mismo. Llegó a la médula de la cuestión, que es, «¿Cómo ocurre en realidad la comunicación, no entre los físicos, sino entre los seres humanos? ¿Qué señales nos enviamos de uno otro? ¿Cómo llegamos al conocimiento?».

Esta es la esencia de todos sus trabajos, ese desdoblamiento del corazón del conocimiento, casi pétalo por pétalo.

Así que su gran trabajo de 1905 no trata únicamente de la luz ni, como su título indica, *La electrodinámica de los cuerpos en movimiento*. Continúa en ese mismo año en un post scriptum en que afirmaba que la energía y la masa son equivalentes, $E = mc^2$. Es para nosotros algo extraordinario que el primer informe sobre la relatividad haya acarreado instantáneamente una predicción devastadora y práctica de la física atómica. Para Einstein, era simplemente parte de la unificación del mundo; como Newton y todos los científicos pensadores, él era en el fondo unitario. Esto proviene de una profunda percepción de los procesos de la propia naturaleza, pero particularmente de las relaciones entre el hombre, el conocimiento y la naturaleza. La física no son sucesos sino observaciones. La relatividad es la comprensión del mundo no como sucesos sino como relaciones.

Einstein recordaba aquellos años con satisfacción. Años después, dijo a mi amigo Leo Szilard, «Fueron los años más felices de mi vida. Nadie esperaba que yo pusiera huevos de oro». Por supuesto, siguió poniendo huevos de oro: efectos cuánticos, relatividad general, la teoría de campos. Con ellos vino la confirmación de los trabajos iniciales de Einstein, así como la cosecha de sus predicciones. En 1915 había predicho, en la Teoría general de la Relatividad, que el campo gravitacional cercano al Sol causaría que un rayo oblicuo de luz se desviara hacia dentro, como una distorsión espacial. Dos expediciones enviadas por la Royal Society al Brasil y a la costa occidental de Africa probaron la predicción durante el eclipse del 29 de mayo de 1919. Para Arthur Eddington, a cargo de la expedición a Africa, la primera medición de las fotografías tomadas a la sazón permaneció para siempre en su memoria como el momento más importante de su vida. Los miembros de la Royal Society se apresuraron a comunicarse las nuevas entre sí; Eddington por telegrama al matemático Littlewood, y éste en breve nota a Bertrand Russell,

Estimado Russell:

La teoría de Einstein está completamente confirmada. El desplazamiento predicho fue de $1'' 0,72$, y el observado fue de $1'' 0,75 \pm 0,06$.

*Atentamente,
J. E. L.*

La relatividad era un hecho, en la teoría especial y en la general. $E = mc^2$ fue confirmada con el tiempo, por supuesto. Hasta la idea sobre el porqué del retraso de algunos relojes sería aceptado como un sino inexorable. En 1905 Einstein había escrito una fórmula ligeramente cómica de un experimento ideal para ponerlo a prueba.

Si se cuenta con dos relojes sincronizados en A y si uno de ellos se mueve a lo largo de una curva cerrada con velocidad constante v hasta que retorne a A, lo cual, suponemos, costará r segundos, entonces este reloj, al llegar a A, habrá perdido $\frac{1}{2} t (v/c)^2$ segundos en comparación con el reloj que ha permanecido inmóvil. De esto concluimos que un reloj fijado en el ecuador terrestre marchará un poco más despacio que otro reloj idéntico fijado en uno de los polos terrestres.

Einstein murió en 1955, cincuenta años después de su gran trabajo de 1905. Y ya en ese entonces se podía medir el tiempo en milésimos de un millonésimo de segundo. Y era por tanto posible considerar aquella extraña proposición de «pensar en dos hombres sobre la Tierra, uno en el polo norte y otro en el ecuador. Este último gira a mayor velocidad que el que se halla en el polo norte; en consecuencia, su reloj se retrasará». Y el resultado fue precisamente ése.

El experimento fue realizado en Harwell por un joven llamado H. J. Hay. Imaginó a la Tierra aplastada como un plato, de modo que el polo norte se encontrase al centro, y el ecuador

rodeando el borde externo. Colocó un reloj radiactivo en la periferia y otro en el centro del plato y dejó que éste girase. Los relojes medían el tiempo estadísticamente, contando el número de átomos radiactivos que decaían. Y, de hecho, el reloj en la periferia del plato de Hay registraba más lentamente el tiempo que el reloj en el centro. Esto es así en todo disco que gira, en todo plato giratorio. Consecuentemente, en todo disco fonográfico que esté girando, el centro de éste envejece más que el borde exterior, en cada vuelta que dé.

Einstein fue el creador de un sistema más filosófico que matemático. Tenía el genio para encontrar ideas filosóficas que ofrecieron una nueva visión de la experiencia práctica. No contemplaba la naturaleza como un Dios, sino como un explorador, es decir, como un hombre dentro del caos de los fenómenos de aquélla, que cree que existe un patrón común visible en éstos si los miramos desde una perspectiva nueva. Escribió en *El mundo como yo lo veo*:

Hemos olvidado qué características del mundo de la experiencia nos hicieron formar conceptos (precientíficos), y encontramos muy difícil representarnos el mundo de la experiencia a nosotros mismos sin las gafas de la interpretación conceptual antiguamente establecida. Existe la dificultad adicional de que nuestro lenguaje está forzado a trabajar con palabras que están conectadas inseparablemente con aquellos conceptos primitivos. Estos son los obstáculos que afrontamos cuando intentamos describir la naturaleza esencial del concepto precientífico del espacio.

Así, en el transcurso de su vida, Einstein unió la luz al tiempo y el tiempo al espacio; la energía a la materia, la materia al espacio y el espacio a la gravitación. Al final de su vida se encontraba todavía trabajando en la búsqueda de la unidad entre la gravitación y las fuerzas de la electricidad y del magnetismo. Es así como yo lo recuerdo, pronunciando una conferencia en la Casa del Senado en Cambridge, vistiendo un viejo suéter, en babuchas y sin calcetines, diciéndonos qué eslabón trataba de hallar y cuáles eran las dificultades que su mente trataba de sortear.

El suéter, las babuchas, la falta de tirantes y de calcetines, no eran afectación. Einstein parecía expresar, cuando uno le veía, un artículo de fe de William Blake: «Maldecid los tirantes: bendecid los relajantes». Era totalmente indiferente al éxito mundano, o a la respetabilidad, o al convencionalismo; la mayor parte del tiempo no tenía idea de lo que se esperaba de un hombre de su eminencia. Detestaba la guerra, la crueldad, la hipocresía y, sobre todo, odiaba el dogma: salvo que odio no es la palabra adecuada para la sensación de repulsión triste que sentía; creía que el mismo odio era una especie de dogma. Se negó a ser presidente del estado de Israel porque (explicó) no tenía cabeza para los problemas humanos. Era éste un criterio modesto, que muchos presidentes bien podrían adoptar; no durarían muchos de ellos.

Es casi impertinente hablar del ascenso del hombre en presencia de dos hombres, Newton y Einstein, que han caminado como dioses. De los dos, Newton es el dios del Antiguo Testamento; Einstein es la figura del Nuevo Testamento. Estaba imbuido de humanismo, piedad, un enorme sentido de conmiseración. Su visión de la propia naturaleza era la de un ser humano en presencia de algo divino, y eso es lo que siempre expresaba en relación con la naturaleza. Le gustaba hablar de Dios: «Dios no juega a los dados», «Dios no es malicioso». Por fin, un día Niels Bohr le dijo: «Deja ya de decirle a Dios lo que tiene que hacer». Pero esto no era muy justo. Einstein era un hombre que podía formular preguntas inmensamente simples. Y lo que mostró su vida, y su trabajo, es que cuando las respuestas también son simples, se perciben los pensamientos de Dios.

8 EL AFAN DE PODER

Las revoluciones no son producto del destino sino de los hombres. En ocasiones son hombres solitarios geniales. Pero las grandes revoluciones del siglo XVIII fueron realizadas por hombres insignificantes agrupados. Lo que los motivaba era la convicción de que todo hombre es dueño de su propio destino.

Hoy en día damos por sentado el que la ciencia tiene una responsabilidad social. Esta idea nunca se les habría ocurrido ni a Newton ni a Galileo. Ellos concebían la ciencia como una explicación del mundo tal como es, y la única responsabilidad que reconocían era la de decir la verdad. La idea de que la ciencia constituye una empresa social es moderna, y se inicia con la revolución industrial. Nos sorprende el no poder encontrar ningún sentido social anteriormente, ya que sostenemos la fantasía de que la revolución industrial puso fin a una época de oro.

La revolución industrial es una larga cadena de cambios que principió hacia 1760. Y no es la única: forma parte de una tríada de revoluciones, de las cuales las otras dos fueron la revolución norteamericana, comenzada en 1775, y la revolución francesa, que empezó en 1789. Puede parecer extraño el colocar en un mismo plano una revolución industrial y dos revoluciones políticas. Pero el hecho es que las tres fueron revoluciones sociales. La revolución industrial es simplemente el estilo inglés de realizar tales cambios sociales. Yo la considero la revolución inglesa.

¿Qué la hacía especialmente inglesa? Obviamente, que comenzó en Inglaterra. Ya era Inglaterra la principal nación industrial. Pero la manufactura era una industria casera y la revolución industrial se inició en las aldeas. Los hombres que la realizaron eran artesanos: el molinero, el relojero, el constructor de canales, el herrero. Lo que hace a la revolución industrial tan peculiarmente inglesa es que echó raíces en el campo.

Durante la primera mitad del siglo XVIII, cuando Newton era ya un anciano y la Royal Society estaba en decadencia, Inglaterra disfrutaba sus últimos días de aldeano y de comerciante con mercaderes aventureros. El auge quedaba atrás. El comercio se volvía más competitivo. A fines de la centuria, los requerimientos de la industria eran más rigurosos y más apremiantes. La organización del trabajo casero ya no era suficientemente productiva. Dentro de dos generaciones, entre 1760 y 1820, aproximadamente, había de cambiar la forma acostumbrada de manejo de la industria. Antes de 1760, era común el que los aldeanos llevaran el trabajo a casa. Hacia 1820, era corriente el traer a los obreros a la fábrica para poder supervisarlos.

Suponemos que el campo era ideal en el siglo XVIII, un paraíso perdido como *La aldea desierta* que Oliver Goldsmith describió en 1770.

*Dulce Auburn, aldea la más linda del llano,
donde la salud y la abundancia animaban al pretendiente trabajador
Bendito el que, con semejantes matices, culmina
con una vejez ociosa su juventud laboriosa.*

Esta era una fábula, y George Crabbe, clérigo del campo que conocía de primera mano la vida del aldeano, se indignó tanto que escribió en respuesta un poema cáustico y realista.

*Sí, así cantan las musas de pretendientes felices,
porque las musas nunca han conocido sus dolores.*

*Postrado de trabajo y encorvado por el tiempo,
¿notarías en ti las yermas lisonjas de un verso?*

El campo era un lugar en el que los hombres trabajaban desde el amanecer hasta el anochecer y el trabajador vivía no al sol, sino en la pobreza y en la oscuridad. Los elementos existentes para aligerar el trabajo eran inmemoriales, como el molino, que ya era arcaico en los tiempos de Chaucer. La revolución industrial se inició con tales máquinas; los fabricantes de molinos serían los ingenieros de la nueva era. James Brindley de Staffordshire inició su carrera autodeterminada en 1733, trabajando en las ruedas de los molinos, a los diecisiete años; había nacido pobre en una aldea. Los adelantos de Brindley eran prácticos: acelerar y aumentar el rendimiento de la rueda de agua como máquina. Esta fue la primera máquina de usos múltiples para las nuevas industrias. Brindley trabajó, por ejemplo, por mejorar la pulverización del pedernal que se empleaba en la naciente industria de la cerámica.

Sin embargo, hacia 1750, se sentía en el aire la manifestación de un movimiento de mayores alcances. El agua se había convertido en el elemento de los ingenieros, y hombres como Brindley estaban obsesionados con ella. El agua brotaba y se dispersaba por todo el campo. No era simplemente una fuente de energía; era una nueva onda de movimiento. James Brindley fue un pionero en el arte de la construcción de canales, o de lo que entonces se conocía como «navegación». (Debido a que Brindley no sabía deletrear la palabra inglesa «navigator», los trabajadores que cavan surcos o canales se siguen denominando *navvies*). Brindley había empezado por propia cuenta, por interés, a investigar las vías fluviales por las que viajaba de uno a otro de sus proyectos ingenieriles para molinos y minas. El duque de Bridgewater le encomendó la construcción de un canal para transportar carbón desde sus minas en Worsley hasta el naciente pueblo de Manchester. Fue un diseño prodigioso, como lo describe una carta enviada al *Manchester Mercury* en 1763.

He estado visitando últimamente los prodigios artificiales de Londres y los prodigios naturales del Peak, mas ninguno en este país me ha brindado tanto placer como el sistema de navegación del duque de Bridgewater. Su diseñador, el ingenioso Sr. Brindley, ha realizado tan grandes adelantos en ese sentido, que son en verdad increíbles. Ha erigido, en el Puente Barton, un canal navegable en el aire; pues es tan alto como las copas de los árboles. Mientras investigaba esto con una mezcla de sorpresa y placer, cuatro barcasas me rebasaron en un período de aproximadamente tres minutos, dos de ellas encadenadas entre sí y tiradas por dos caballos que trotaban a la vera del canal, donde yo apenas me atrevía a caminar, pues casi temblaba al contemplar debajo de mí el gran río Irwell. Donde Cornebrooke se cruza con la navegación del duque a cerca de dos kilómetros de Manchester, los agentes del duque han instalado un muelle en que venden carbón a tres peniques y medio el canasto. El verano próximo piensan desembarcarlo directamente en Manchester.

Brindley conectó Manchester con Liverpool de un modo aún más audaz, y en total se encargó de la construcción de más de seiscientos kilómetros de canales en una red que cubría toda Inglaterra.

Sobresalen dos aspectos de la creación del sistema inglés de canales que caracterizan a toda la revolución industrial. Uno es que los hombres que realizaron la revolución eran hombres prácticos. Con frecuencia, al igual que Brindley, poseían escasa preparación, y de hecho la educación escolar de la época sólo servía para entorpecer a las mentes inventivas. Legalmente, las escuelas de gramática sólo estaban autorizadas a enseñar los temas clásicos, para cuyo fin habían sido creadas. También las universidades (sólo había dos, en Oxford y en Cambridge) mostraban poco interés en los estudios científicos modernos; y estaban cerradas a aquellos no conformes con la Iglesia de Inglaterra.

El otro aspecto sobresaliente es que las nuevas invenciones eran para uso cotidiano. Los canales eran arterias de comunicación: no habían sido construidos para llevar barcos de recreo, sino barcasas. Y éstas no habían sido construidas para transportar artículos de lujo, sino ollas, cacerolas, cargamentos de telas, cintas y todas esas cosas de uso común que la gente compra en cantidades pequeñas. Estos artículos se habían manufacturado en aldeas que se convertían en pueblos, lejos de Londres; era un comercio nacional.

La tecnología en Inglaterra era para ser utilizada por todo el país, lejos de la capital. Y es

precisamente a eso a lo que *no* estaba destinada la tecnología en los oscuros confines de las cortes de Europa. Por ejemplo, los franceses y los suizos eran tan diestros como los ingleses (y mucho más ingeniosos) en la elaboración de juguetes científicos. Pero despilfarraron su brillante acuciosidad en la manufactura de juguetes para los acaudalados y los miembros de la realeza. Los juguetes automáticos a los que dedicaban años de trabajo son hasta el presente los más exquisitos, en cuanto al flujo de movimiento, que jamás hayan sido creados. Los franceses fueron los inventores de la automatización es decir, la idea de efectuar cada paso de una secuencia de movimientos de modo que controle al siguiente. Incluso las máquinas modernas de control a base de tarjetas perforadas ya habían sido concebidas por Joseph Marie Jacquard hacia 1800 para los telares de seda de Lyons; mas languideció en tan lujosa aplicación.

Semejante refinada destreza podía hacer prosperar a un hombre en Francia antes de la revolución. Un relojero, Pierre Caron, quien inventó una nueva rueda de escape para reloj y complació a la reina María Antonieta, se destacó en la corte hasta convertirse en el conde Beaumarchais. Tenía, además, talento musical y literario, y tiempo después escribió una obra de teatro en que se basó Mozart para su ópera *Las bodas de Fígaro*. Aunque una comedia parezca una fuente inverosímil de historia social, las intrigas dentro y acerca de la obra revelan cómo le iba al talento en las cortes europeas.

A primera vista, *Las bodas de Fígaro* parece una obra francesa para títeres, imbuida de maquinaciones secretas. Pero en realidad constituye un primer indicio de la tormenta revolucionaria que se avecinaba. Beaumarchais tenía un fino olfato político para lo que se cocinaba, lo cual probaba con su larga cuchara. Fue empleado por los ministros reales en diversos asuntos de doble filo y, como representante de éstos, estuvo de hecho envuelto en un negocio secreto de armas con los revolucionarios norteamericanos, a fin de ayudarles a combatir a los ingleses. Tal vez el rey creyera que jugaba a Maquiavelo y que pudiese guardar tales designios políticos exclusivamente para la exportación. Pero Beaumarchais era más sensible y más astuto y podía percibir que la revolución estaba a punto de llegar a casa. Y el mensaje que puso en boca del protagonista, Fígaro, el sirviente, es revolucionario.

Bravo; Signor Padrone –

Empiezo ahora a entender todo este misterio y a apreciar vuestras tan generosas intenciones. El rey os designa su embajador en Londres, yo iré como estafeta y mi Susana como agregada confidencial. No, ¡que me ahorquen antes de que vaya ella! Fígaro sabe más que eso.

La famosa aria de Mozart, «Conde, condesito, podéis ir a bailar, pero yo tocaré la tonada» (*Se vuol ballare, Signor Contino*), es un desafío. En la obra de Beaumarchais se presenta así:

No, mi señor conde, no podréis poseerla, no podréis. Porque sois un gran señor, porque creéis que sois un gran genio. ¡Nobleza, riqueza, honores, emolumentos! ¡Todo ello enorgullece tanto al hombre! ¿Qué habéis hecho para merecer tantos privilegios? Os habéis tomado la molestia de nacer, nada más. Aparte eso, sois un tipo bastante común.

Surgió un debate público acerca de la naturaleza de la riqueza, y puesto que uno no tiene que ser dueño para discutir la condición de ésta, estando de hecho sin ningún dinero, escribí sobre el valor de La moneda y los intereses. De inmediato, me encontré mirando el puente levadizo de una prisión. Las necesidades impresas son peligrosas sólo en países en que se impida su libre circulación; cuando se carece del derecho a la crítica, ni el elogio ni la aprobación tienen valor alguno.

Esto era lo que sucedía por debajo del ambiente refinado y cortesano de la sociedad francesa, tan formal como el jardín del castillo de Villandry. Nos parece hoy inconcebible que la escena del jardín de *Las bodas de Fígaro*, el aria en que Fígaro llama a su amo *Signor Contino*, condesito, pudiera considerarse revolucionaria en su época. Mas tengamos en cuenta cuándo fueron escritas. Beaumarchais terminó la obra *Las bodas de Fígaro* hacia 1780. Tuvo que luchar durante cuatro años contra la censura, particularmente contra la del propio Luis XVI, para poder llevarla a la escena. Una vez estrenada, el escándalo trascendió por toda Europa. Mozart pudo representarla en Viena convirtiéndola en ópera. A la sazón, Mozart contaba treinta años; corría el año 1786; Y tres años después, en 1789, surgió la revolución francesa.

¿Fue destronado y decapitado Luis XVI a causa de *Las bodas de Fígaro*? Por supuesto que no. La sátira no es una dinamita social. Pero sí un parámetro social: indica que nuevos hombres llaman a la puerta. ¿Qué hizo a Napoleón denominar al último acto de la obra «la revolución en acción»? Era el propio Beaumarchais, por medio del personaje Fígaro, señalando al conde y diciendo, «Porque sois un gran señor, creéis que sois un gran genio. No os habéis tomado ninguna molestia, salvo la de nacer».

Beaumarchais representaba a una aristocracia distinta, de talento creativo: los relojeros de su época, los albañiles del pasado, los impresores. ¿Qué despertó el interés de Mozart por la obra? El ardor revolucionario, para él representado por el movimiento de la francmasonería al cual pertenecía, y al que glorificaría en *La flauta mágica*. (La francmasonería era a la sazón una sociedad secreta y próspera, en cuyo fondo se gestaba la antipatía contra lo establecido y contra el clero, y como Mozart era señalado como uno de sus miembros, fue difícil conseguir que un sacerdote acudiera a su lecho de muerte en 1791). O recordemos simplemente al más grande de los francmasones de la época, el impresor Benjamín Franklin. Era emisario norteamericano en Francia ante la Corte de Luis XVI en 1784, año en que se estrenó *Las bodas de Fígaro*. Y él mejor que nadie representa a aquellos hombres de visión, enérgicos, confiados, pujantes, activistas, que forjaron la nueva época.

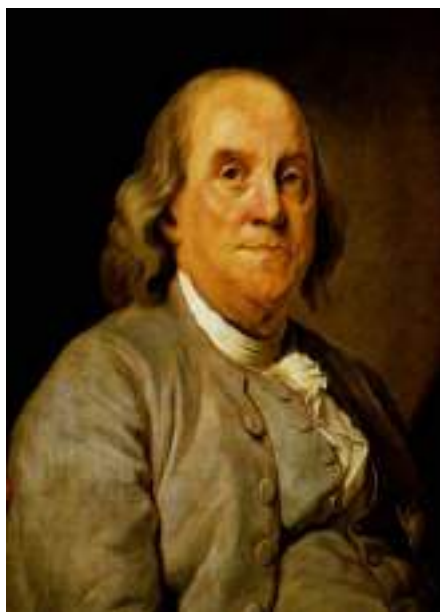


Figura 38 Benjamin Franklin representa ese hombre visionario, vigoroso, confiado, emprendedor que forjó una nueva era.

Benjamin Franklin, de Joseph Duplessis. Pintado en París en 1778.

Entre otras cosas, Benjamín Franklin tenía una suerte maravillosa. Cuando fue a presentar sus credenciales ante la Corte de Francia en 1778, resultó a última hora que tanto su peluca como su ropa formal le quedaban pequeñas. Entonces decidió audazmente presentarse con su rala cabellera al natural, por lo que fue apodado enseguida hijo de la naturaleza, procedente del bosque.

Todas sus acciones llevan el sello de un hombre que sabe lo que quiere y cómo expresarlo. Publicaba un anuario, *Poor Richard's Almanack*, el cual estaba saturado de materia prima para futuros proverbios: «A buen hambre no hay pan duro». «Si deseas saber el valor del dinero, trata de pedir prestado». Franklin escribió acerca del anuario:

En 1732 publiqué mi primer Almanaque lo cual seguí haciendo durante los 25 años subsiguientes. Me esforcé en que fuera tanto entretenido como útil, y de acuerdo con esto tuvo tal demanda que me devengó considerables ganancias; vendía anualmente cerca de diez mil... sería difícil encontrar algún barrio de

provincias que no lo tuviera. La consideraba un vehículo apropiado para llevar la instrucción a gente común, que prácticamente no compraba otros libros.

A aquellos que dudaban de la utilidad de los nuevos inventos (en la ocasión del ascenso del primer globo de hidrógeno en París, en 1783), Franklin les respondió, «¿Qué utilidad tiene un niño recién nacido?» Su carácter se condensa en esta respuesta: optimista, mundana, sentenciosa, y lo suficientemente memorable como para ser empleada nuevamente por Michael Faraday, el gran científico, en el siglo siguiente. Franklin estaba muy consciente de cómo se decían las cosas. Elaboró su primer par de espejuelos bifocales, para su propio uso, cortando las lentes por la mitad, ya que no podía captar el francés de la Corte a menos de que observase la expresión de su interlocutor.

Los hombres como Franklin tenían la pasión del conocimiento racional. Al contemplar la montaña de sus grandes logros a lo largo de su vida, los folletos, las caricaturas, los sellos de los impresores, nos impresiona el alcance y la riqueza de su mente creativa. La electricidad era el entretenimiento científico de la época. Franklin era amante de la diversión (era un hombre bastante indecoroso) y, no obstante, tomaba en serio la electricidad; la reconocía como una fuerza de la naturaleza. Propuso que los relámpagos eran eléctricos y, en 1752, lo demostró. ¿Cómo lo demostraría un hombre como Franklin? Colgando una llave de una cometa durante una tormenta eléctrica. Siendo Franklin, su suerte tenía que imponerse: el experimento no le costó la vida, aunque sí a los que lo imitaron. Claro, convirtió su invento a un uso práctico, el pararrayos; con lo cual ilustró también la teoría de la electricidad, enunciando que toda la electricidad es de una sola clase y no, como se creía entonces, dos fluidos distintos.

Hay una nota a pie de página del invento del pararrayos, que nos recuerda de nuevo que la historia social se oculta en sitios inesperados. Franklin razonaba, correctamente, que el pararrayos funcionaría mejor con un extremo en punta. Esto le fue rebatido por algunos científicos, que eran partidarios de un extremo redondeado, y la Royal Society de Inglaterra arbitró la disputa. No obstante, ésta se resolvió a un nivel más primitivo y elevado. El rey Jorge III, encolerizado contra la revolución norteamericana, ordenó instalar extremos redondeados sobre los pararrayos de los edificios reales. La interferencia de la política con la ciencia suele ser trágica; resulta agradable contar con un ejemplo cómico que rivaliza con la guerra que se lleva a cabo en *Los viajes de Gulliver* entre «los dos grandes imperios de *Liliput* y *Blefuscu*», que rompían los huevos del desayuno los unos por la punta, los otros por el extremo redondeado.

Franklin y sus amigos vivían la ciencia; estaba presente permanentemente en sus pensamientos tanto como en sus manos. La comprensión de la naturaleza era para ellos un placer intensamente práctico. Eran hombres de dentro de la sociedad: Franklin era un político, ya imprimiendo su papel moneda, ya sus innumerables folletos picantes. Cambió el florido inicio de la Declaración de Independencia por un lenguaje mucho más sencillo: «Sostenemos que estas verdades son *autoevidentes*, que todos los hombres han sido creados iguales». Cuando estalló la guerra entre Inglaterra y los revolucionarios norteamericanos, escribió abiertamente a un político inglés que había sido amigo suyo, en palabras llenas de ardor:

Habéis empezado a quemar nuestras ciudades. ¡Mirad vuestras manos! Están manchadas de la sangre de vuestros hermanos.

El resplandor rojo se había convertido en la imagen de la nueva era en Inglaterra, en los sermones de John Wesley y en el cielo caldeado de la revolución industrial, así como el de los ardientes parajes de Abbeydale en Yorkshire, entre los primeros centros de los nuevos procesos de elaboración del hierro y del acero. Los amos de la industria eran los fabricantes de hierro poderosos, figuras sobresalientes y demoníacas, sospechadas con razón por sus gobernantes de creer que en realidad todos los hombres habían sido creados iguales. Los obreros del norte y del oeste dejaban de ser campesinos para convertirse en una comunidad industrial. Recibían su paga en moneda, no en especie. Los gobiernos de Londres eran ajenos a todo esto. Se negaban a acuñar cantidades suficientes de monedas de baja denominación, por lo que fabricantes de hierro como John Wilkinson acuñaban sus propias monedas para salarios, con sus propios y

plebeyos rostros en ellas. Londres se alarmó: ¿se trataba de una conspiración republicana? No, no era una conspiración. Pero era verdad que los inventos radicales provenían de cerebros radicales. El primer modelo de un puente de hierro expuesto en Londres fue propuesto por Tom Paine, revoltoso en Norteamérica y en Inglaterra, protagonista de *Los derechos del hombre*.

Mientras tanto, ya se utilizaba el hierro forjado en formas revolucionarias por fabricantes de hierro como John Wilkinson, quien construyó el primer barco de hierro en 1787, haciendo alarde de que transportaría su féretro cuando muriera. Y fue sepultado en un ataúd de hierro en 1808. Por supuesto, el barco navegó bajo un puente de hierro; Wilkinson había colaborado en su construcción en 1779, en un pueblo cercano a Shropshire que aún conserva el nombre de Ironbridge [Puente de Hierro].

¿Rivalizó realmente la arquitectura de hierro con la arquitectura de las catedrales? Así ocurrió. Esta fue una época heroica. Thomas Telford lo sentía así, tendiendo un puente de hierro sobre el paisaje. Nació un pobre pastor, trabajó después como albañil jornalero, y por propia iniciativa se convirtió en ingeniero de caminos y canales y en amigo de poetas. Su gran acueducto que lleva el canal Llangollen sobre el río Dee muestra que fue un maestro del hierro forjado en gran escala. Los monumentos de la revolución industrial tienen la grandiosidad romana, la de los republicanos.

Los hombres que realizaron la revolución industrial suelen ser representados como negociantes duros, sin otro motivo que el propio interés. Esto es definitivamente equivocado. Por un lado, muchos de ellos eran inventores que como tales se habían iniciado en los negocios. Y por otro, la mayor parte de ellos no pertenecía a la Iglesia de Inglaterra, sino a la tradición puritana de los unitarios y otros movimientos similares. John Wilkinson estaba bastante influido por su cuñado, Joseph Priestley, famoso después como químico, que era ministro unitario y probablemente pionero del principio que propugna «la mayor felicidad del mayor número de personas».



Figura 39 Fabricantes de hierro como John Wilkinson acuñaban sus propias monedas para salarios, con sus propios y plebeyos rostros en ellas.
Una moneda de Wilkinson, 1788.

Joseph Priestley, a su vez, era consejero científico de Josiah Wedgwood. Solemos considerar ahora a Wedgwood como un hombre que elaboraba vajillas maravillosas para uso de la aristocracia y de la realeza: y así era, en raras ocasiones, cuando se le asignaba alguna comisión. Por ejemplo, en 1774, manufacturó un servicio de casi mil piezas profusamente decoradas para Catalina la Grande de Rusia, que costó más de dos mil libras esterlinas; enorme suma de dinero para la época. Pero la base de esa vajilla era su propia alfarería, su cerámica;

pues de hecho las mil piezas, sin decoración, costaban menos de cincuenta libras, aunque eran idénticas a la vista y al tacto, a las de Catalina la Grande en todos sentidos, con excepción de las escenas idílicas pintadas a mano. Las vajillas que hicieron próspero y famoso a Wedgwood no fueron las de porcelana sino las blancas de barro para uso común. Era ésta la que el hombre de la calle podía comprar a un chelín la pieza con el tiempo transformaron las cocinas de la clase obrera durante la revolución industrial.

Wedgwood era un hombre extraordinario; inventivo, por supuesto, en su propio campo, así como en las técnicas científicas que pudiesen dar una mayor precisión a éste. Inventó un sistema para medir las altas temperaturas de los hornos mediante una suerte de escala corregida de expansión, cuyo indicador, de barro, se movía. La medición de las altas temperaturas constituye un antiguo y complejo problema de la manufactura de cerámica y de metales, era lógico (según las costumbres de la época) que Wedgwood fuera elegido miembro de la Royal Society.

Josiah Wedgwood no era una excepción; había docenas de hombres como él. Pertenecía, por cierto, a un grupo de aproximadamente una docena de hombres, la Sociedad Lunar de Birmingham (Birmingham era entonces un con junto de villas industriales dispersas), que había adoptado tal nombre en virtud de que se reunían durante los plenilunios. Se hacía así con objeto de que los miembros como Wedgwood, que procedían de lugares distantes de Birmingham, pudiesen viajar con seguridad por los intrincados caminos, que eran peligrosos en las noches oscuras.

Mas Wedgwood no era el más importante de aquellos industrialistas: lo era Matthew Boulton, quien llevó a James Watt a Birmingham porque allí podrían trabajar juntos en la construcción de la máquina a vapor. Boulton era afecto a hablar sobre medidas; decía que la naturaleza le había destinado para ser ingeniero, haciéndole nacer en el año 1728, porque esa es la cifra que corresponde al número de pulgadas cúbicas en un pie cúbico. La medicina era también importante para ese grupo, debido a que se realizaban nuevos e importantes avances en ese campo. Fue en Birmingham donde el doctor William Withering descubrió el empleo del digital. Uno de los médicos cuya fama ha perdurado y que pertenecía a la Sociedad Lunar era Erasmus Darwin, abuelo de Charles Darwin. ¿Su otro abuelo? Josiah Wedgwood.

Asociaciones como la Sociedad Lunar representan la intuición de los creadores de la revolución industrial (una intuición peculiarmente inglesa) de que tenían una responsabilidad social. La he llamado una intuición inglesa, aunque de hecho esto no es muy justo; la Sociedad Lunar estaba sumamente influenciada por Benjamín Franklin y otros norteamericanos asociados con ella. Su credo era: la buena vida es *más* que decencia material, pero la buena vida debe estar *basada* en la decencia material.

Transcurriría una centuria antes de que los ideales de la Sociedad Lunar se hicieran realidad en la Inglaterra victoriana. Cuando esto sucedió, la realidad parecía un lugar común, cómico incluso, como una tarjeta postal con una imagen victoriana. Resulta cómico pensar que la ropa interior de algodón y el jabón obraron una transformación de la vida de los pobres. Sin embargo, estos artículos simples – el carbón en una cocina de hierro, los cristales de las ventanas, la variedad de alimentos – constituían un formidable ascenso en los estándares de vida y de salud. Para nuestros estándares, esas ciudades industriales eran barrios bajos; mas para aquella gente que provenía de una cabaña, una casa en un terraplén simbolizaba una liberación del hambre, de la suciedad, de la enfermedad; ofrecía nuevas posibilidades de elección. Una recámara con un lema en la pared puede parecernos graciosa e incluso patética, pero para el ama de casa de la clase obrera significaba la primera experiencia de decencia privada. Es probable que las camas de armazón de hierro salvaran a más mujeres de la fiebre de parto que el maletín negro del médico, que en sí mismo constituía una innovación médica.

Estos beneficios procedían de la producción masiva de las fábricas. Y el sistema de las fábricas

era horripilante; los libros de texto escolares son veraces en cuanto a esto. Mas era horripilante a la manera tradicional antigua. Las minas y los talleres habían sido húmedos, atestados y esclavizantes desde mucho tiempo antes de la revolución industrial. Las fábricas, simplemente, adoptaron las normas de la industria de las provincias, con fría indiferencia hacia aquellos que laboraban en ellas.

La contaminación producida por las fábricas tampoco era nueva. Era también la herencia de las minas y de los talleres, que habían contaminado desde siempre el ambiente. Concebimos a la polución como un moderno infortunio, mas no lo es. Constituye una expresión más de la perniciosa indiferencia hacia la salud y la decencia que, en los siglos anteriores, hacía de la peste un indefectible visitante anual. El nuevo mal por el que resultaba siniestra la fábrica era diferente: la dominación del hombre por el ritmo de las máquinas. Por vez primera, los obreros eran manipulados por una maquinaria inhumana primero por el poder del agua y después por el del vapor. Nos parece una locura (y *era* una locura) que los fabricantes se dejaran intoxicar por el sabor del poder que brotaba sin cesar de las calderas. Se predicaba una nueva ética, según la cual el pecado mortal no era la crueldad ni el vicio, sino el ocio. Aun las escuelas dominicales religiosas prevenían a los niños de que

*Satanás idea siempre alguna diablura
para ocupar a las manos ociosas.*

El cambio en la escala de tiempo en las fábricas fue terrible y destructivo. Mas el cambio en la escala de potencia abrió paso al futuro. Por ejemplo, Matthew Boulton, de la Sociedad Lunar, construyó una fábrica que era un verdadero salón de exposición, ya que el tipo de trabajo de metalistería que realizaba dependía de la destreza de los artesanos. Ahí construyó James Watt el dios-sol de todo poder, la máquina a vapor, pues sólo en tal sitio pudo encontrar el nivel de precisión requerido para desarrollara su máxima capacidad el potencial de dicha maquinaria.

En 1776, Matthew Boulton se hallaba muy ufano por su nueva colaboración con James Watt para construir la máquina a vapor. Cuando el biógrafo James Boswell se presentó a Boulton ese mismo año, éste le expresó en tono de grandeza: «Yo vendo aquí, señor, lo que todo el mundo desea tener: poder». Bella frase. Pero es también verdad,

El poder es una nueva preocupación, una suerte de nueva idea, en ciencia. La revolución industrial, la revolución inglesa, resultó ser la gran descubridora del poder. Se buscaban fuentes de energía en la naturaleza: viento, sol, agua, vapor, carbón. Y de pronto se planteó una pregunta concreta: ¿Por qué son todas una? ¿Qué relación existe entre ellas? Esto nunca se había preguntado antes. Hasta entonces la ciencia se había preocupado exclusivamente por la exploración de la naturaleza tal cual es. Pero ahora el concepto de la transformación de la naturaleza con el fin de extraer el poder de ésta, y de cambiar una forma de poder por otra, se puso en el primer plano de la ciencia. En particular, se hizo claro que el calor es una forma de energía y que se convierte en otras formas a una velocidad fija de cambio. En 1824, Sadi Carnot, un ingeniero francés, al contemplarlas máquinas a vapor, escribió un tratado de lo que denominó «*la puissance motrice du feu*», con el cual fundó, en esencia, la ciencia de la termodinámica: la dinámica del calor. La energía se había convertido en el concepto central de la ciencia; y la preocupación fundamental de la ciencia era la de la unidad de la naturaleza, de la cual la energía constituye el alma.

Y esta preocupación básica no era privativa de la ciencia. Se manifestaba igualmente en las artes y es en ellas donde resulta más sorprendente. Y mientras tanto, ¿qué ocurría en la literatura? El advenimiento de la poesía romántica se redondea hacia el año 1800. ¿Cómo podían los poetas románticos interesarse en la industria? Fue muy simple: el nuevo concepto de la naturaleza como portadora de energía les tomó por asalto. Les chiflaba la palabra «tormenta» como sinónimo de energía, en frases como *Sturm und Drang*, «tormenta y empuje». El clímax de la *Rima del anciano marinero*, de Samuel Taylor Coleridge, se inicia con una tormenta que rompe el silencio sepulcral y restituye la vida.

*¡Las capas más altas del aire bullían de vida!
Y brillaban cien banderas de fuego,
¡empujadas fueron por doquier!
Y por doquiera, por un lado y otro,
danzaban entre ellas estrellas plomizas.*

*El aullante viento jamás alcanzó la nave,
y no obstante, ¡la nave avanzó!
Bajo los relámpagos y la Luna
los muertos soltaban gemidos*

Un joven filósofo alemán, Friedrich von Schelling, inició justamente a la sazón, en 1799, una nueva forma de filosofía que ha perdurado con intensidad en Alemania, la *Naturphilosophie*: la filosofía de la naturaleza. Coleridge la asimiló de él y la llevó a Inglaterra. Los Poetas del lago la tomaron de Coleridge, así como los Wedgwoods, que eran amigos de éste y que le apoyaron económicamente con una anualidad. Los poetas y pintores fueron conquistados súbitamente por la idea de que la naturaleza es la fuente del poder, cuyas diferentes formas son expresión de una sola fuerza central: la energía.

Y no únicamente la naturaleza. La poesía romántica expresa de la más sencilla de las maneras que el hombre mismo es el portador de una energía divina o, cuando menos, natural. La revolución industrial creó libertad (en la práctica) para aquellos hombres que desearan desarrollar su potencial – concepto inadmisibles cien años atrás –. Al propio tiempo, el pensamiento romántico inspiraba a estos hombres a sacar de su libertad un nuevo sentido de la personalidad de la naturaleza. Quien mejor lo expresó fue William Blake, el más grande de los poetas románticos, de modo muy sencillo: «La energía es un deleite eterno».

La palabra clave es «deleite»; el concepto clave es «liberación»: sentido del placer como derecho humano. Naturalmente, los hombres dinámicos de la época expresaron este impulso a través de la inventiva. Así, produjeron una cornucopia inagotable de ideas excéntricas para deleite de las familias obreras los sábados por la noche. (Hasta hoy, la mayoría de las solicitudes que se apilan en las oficinas de patentes son, como sus propios inventores, un tanto desquiciadas). Bien podríamos construir una avenida desde aquí hasta la luna a base de todas estas locuras, lo cual sería algo tan inútil y, no obstante, tan estimulante como el llegar a la luna. Consideremos, por ejemplo, el invento del zootropo, máquina circular que daba movimiento a una tira de dibujos victorianos, al hacer pasar con rapidez las imágenes, una tras otra, ante los ojos del observador. Es tan emocionante como el cine, y va al grano más rápidamente. O la orquesta automática, que tenía la ventaja de ejecutar un repertorio muy reducido; Todos fueron elaborados con un vigor ingenuo desconocedor del buen gusto, todos eran caseros. Por cada invento inútil para el hogar, tal como el cortador mecánico de legumbres, aparece otro extraordinario, como el teléfono. Y al extremo de la avenida del placer, debemos colocar la máquina que constituye la esencia del maquinismo: ¡no hace absolutamente nada!.

Los hombres que realizaron los inventos disparatados, así como los que crearon los grandiosos, provenían del mismo molde. Pensemos en el invento en que culminó la revolución industrial como los canales la iniciaron: el ferrocarril. Este fue posibilitado por Richard Trevithick, herrero cónico y luchador de gran fuerza. Convirtió la máquina a vapor en una fuente móvil de energía, al cambiarla máquina de balancín de Watt en una locomotora de alta presión. Este fue un acto creativo que abrió una corriente sanguínea de comunicación a lo largo y a lo ancho del mundo, haciendo de Inglaterra su corazón.

Nos hallamos todavía a mediados de la revolución industrial: más vale que sea así, pues nos quedan por corregir muchos aspectos de ella. Empero, ha hecho nuestro mundo más rico, más pequeño, y nuestro por primera vez. Y lo digo en sentido literal: nuestro mundo, el de todos.

Desde sus comienzos, cuando aún dependía de la fuerza del agua, la revolución industrial fue terriblemente cruel con aquellos cuya vida y subsistencia alteró profundamente. Esta es la naturaleza de todas las revoluciones, pues por definición éstas se mueven con demasiada rapidez para aquellos que son afectados por ellas. Empero, con el tiempo se convirtió en una revolución social, estableciendo la igualdad social, la igualdad de derechos y, sobre todo, la igualdad intelectual, de las cuales todos dependemos. ¿En qué situación me encontraría, en que situación se encontraría usted, de haber nacido antes de 1800? Vivimos todavía a mediados de la revolución industrial, lo que nos dificulta apreciar sus implicaciones; mas el futuro pondrá en claro que ésta constituye en el ascenso del hombre un paso tan largo y poderoso como el dado por el Renacimiento. El Renacimiento estableció la dignidad del hombre. La revolución industrial estableció la unidad de la naturaleza.

Esto fue logrado por los científicos y por los poetas románticos que observaron que el viento y el mar y el río y el vapor y el carbón fueron creados por el calor del sol, y que el propio calor constituye una forma de energía. Muchos hombres pensaron en esto, pero fue establecido en realidad por uno solo: James Prescott Joule, de Manchester. Nació en 1818, y a partir de los veinte años de edad se dedicó a efectuar sutiles experimentos para determinar el equivalente mecánico del calor; es decir, para establecer la razón exacta del cambio de la energía mecánica en calor. Y ya que esta empresa da la impresión de ser sumamente solemne y aburrida, me permitiré narrar una historia divertida acerca de este científico.



Figura 40 Richard Trevithick convirtió la máquina a vapor en una fuente móvil de energía.

En el verano de 1847, el joven William Thompson (que posteriormente sería el gran lord Kelvin, mandamás de la ciencia británica) caminaba – ¿qué recorrido haría un caballero británico que caminaba por los Alpes? – de Chamonix a Mont Blanc. Y ahí encontró – ¿con quién se encontraría en los Alpes un caballero británico? – con un británico excéntrico: James Joule, que llevaba un enorme termómetro, seguido a corta distancia por su esposa que viajaba en un carruaje. Toda su vida, Joule había intentado demostrar que el agua, al caer desde una altura de 250 metros, aumenta su temperatura en un grado Fahrenheit. Ahora, en su luna de miel, tenía excusa para visitar Chamonix (como hacen las parejas norteamericanas que visitan las cataratas del Niágara) y así permitir que la naturaleza se encargase del experimento. La catarata de este sitio es ideal. La caída no alcanzaba los 250 metros, pero él esperaba obtener un aumento de cerca de medio grado Fahrenheit. Debo observar que, desde luego, no lo consiguió pues, por desgracia, la catarata se dispersa excesivamente en espuma, impidiendo que el experimento dé resultado

No es irrelevante la historia del científico británico ni de sus excentricidades. Fueron hombres como él quienes dieron un matiz romántico a la naturaleza; el movimiento romántico de la poesía les acompañó paso a paso. Lo podemos apreciar en poetas como Goethe (que además era un científico) y en músicos como Beethoven. Pero más que en ningún otro lo podemos detectar en Wordsworth la visión de la naturaleza como un nuevo acicate del espíritu, pues la unidad en ella era apremiante para el corazón y la mente. Wordsworth había atravesado los Alpes en 1790, atraído a Europa por la revolución francesa. Y en 1798 había expresado en su obra *La abadía de Tintern* algo que no podría ser mejor dicho.

*Así que la naturaleza...
era para mí el todo: no puedo pintar
lo que yo era entonces. La murmurante catarata
me obsesionó como una pasión.*

«La naturaleza era para mí el todo» Joule nunca lo expresó tan bien. Pero sí dijo: «Los grandes agentes de la naturaleza son indestructibles», con lo cual quiso decir lo mismo.

9 LA ESCALA DE LA CREACION

La teoría de la evolución por selección natural fue enunciada independientemente por dos hombres, en la década de 1850. Uno fue Charles Darwin; el otro, Alfred Russel Wallace. Por supuesto que ambos tenían algunos antecedentes científicos, aunque en el fondo eran naturalistas. Darwin había sido estudiante de medicina en la Universidad de Edimburgo durante dos años, antes de que su padre, médico próspero, le propusiera convertirse en clérigo, enviándolo a Cambridge. Wallace, cuyos padres eran pobres y quien había abandonado la escuela a los catorce años de edad, y tomado cursos en el Instituto para los Trabajadores en Londres y en Leicester, como aprendiz de agrimensor y asistente de maestro.

El hecho es que existen dos tradiciones aclaratorias que marchan de la mano en el ascenso del hombre. Una es el análisis de la estructura física del mundo. La otra es el estudio de los procesos vitales: su delicadeza, su diversidad, sus ciclos ondulantes entre la vida y la muerte en el individuo y en las especies. Y estas tradiciones no se unirían sino al aparecer la teoría de la evolución; porque hasta entonces prevalecía una paradoja que no podía ser resuelta, que no podía ser formulada con respecto a la vida.

La paradoja de las ciencias vitales, que las hace diferentes de las ciencias físicas, reside en los detalles de la naturaleza en todas partes. Lo podemos advertir a nuestro alrededor: en las aves, en los árboles, en el césped, en los caracoles, en todo ser viviente. Esto es así. Las manifestaciones de la vida, sus expresiones, sus formas, son tan diversas que deben contener un gran número de hechos accidentales. Y aun así, la naturaleza de la vida es tan uniforme que debe estar constreñida por múltiples necesidades.

De esta manera, no es de sorprender que la biología, tal como la entendemos, se inicie con los naturalistas de los siglos XVIII y XIX: observadores de la campiña, observadores de aves, clérigos, médicos, aristócratas en sus residencias campestres. Estoy tentado a llamarles, sencillamente, «caballeros de la Inglaterra victoriana», pues no puede ser accidental que la teoría de la evolución haya sido concebida por dos hombres pertenecientes a la misma época y a la misma cultura: la cultura de la reina Victoria en Inglaterra.

Charles Darwin contaba algo más de veinte años cuando el Almirantazgo estaba a punto de despachar una nave de inspección cuyo nombre era *Beagle* (Sabueso), con el fin de cartografiar la costa de América del Sur, y se le ofreció el cargo no remunerado de naturalista. Debía la invitación al profesor de botánica que le había ofrecido su amistad en Cambridge, aunque allí el único interés de Darwin fue coleccionar escarabajos y no la botánica.

Daré una prueba de mi interés: cierto día, al desprender una vieja corteza, vi dos extraños escarabajos y cogí uno en cada mano; después, vi un tercero de una nueva clase, el cual no deseaba perder, así que coloqué el que sostenía en la mano derecha dentro de mi boca.

El padre de Darwin se oponía a este viaje, y al capitán del *Beagle* le desagradaba la forma de la nariz del joven naturalista; pero un tío de Darwin, de la familia Wedgwood, intercedió por él y finalmente partió. El *Beagle* izó velas el 27 de diciembre de 1831.

Los cinco años que duró la travesía transformarían a Darwin. Había sido un asiduo y sutil observador de aves, de flores, de la vida en su campiña natal; ahora, en Suramérica, explotó todo ello hasta la pasión. Regresó a su país convencido de que las especies se desarrollan en formas distintas cuando son aisladas unas de otras; las especies no son inmutables. Pero aún no podía determinar como operaba el mecanismo que las separaba. Corría el año de 1836.

Cuando Darwin acertó con una explicación de la evolución de las especies dos años más tarde, se resistió a publicarla. Y es posible que nunca hubiera publicado nada de no ser porque un hombre sumamente distinto a él había seguido sus mismos pasos experimentales, casi con exactitud, así como su propia concepción del tema, haciéndolo llegara la misma teoría se trata de un personaje vital aunque casi olvidado, una especie de hombre de Porlock en sentido inverso, de la teoría de la evolución por selección natural,

Su nombre era Alfred Russel Wallace, hombre descomunal cuya historia familiar dickensiana era tan hilarante como la solemnidad de Darwin. En ese entonces, en 1836, Wallace era un adolescente; había nacido en 1823; era, pues, catorce años menor que Darwin. La vida de Wallace no fue fácil ni siquiera en aquel tiempo.

De haber sido mi padre un hombre medianamente rico... mi vida habría tomado un rumbo muy distinto, y aunque, con certeza; la ciencia me habría llamado la atención, creo que difícilmente habría emprendido... un viaje a las casi ignotas selvas del Amazonas con el fin de observar la naturaleza y ganarme el sustento con las colecciones.

Así escribió Wallace sobre sus primeros años, cuando intentaba encontrar una forma de ganarse la vida en las provincias inglesas. Adoptó la profesión de topógrafo, la cual no requería de estudios universitarios y que su hermano mayor se encargó de enseñarle. Este murió en 1846 a causa de un enfriamiento que atrapó cuando se dirigía a casa en un carruaje descubierto de tercera clase, procedente de una junta del comité de la Royal Commission sobre firmas ferroviarias de la competencia.

Era evidentemente una vida al aire libre, y Wallace empezó a interesarse en las plantas y en los insectos. Cuando trabajaba en Leicester, se topó con un hombre que tenía los mismos intereses, aunque mejor preparación. Su nuevo amigo le sorprendió al informarle de que había coleccionado varios cientos de especies diferentes de escarabajos en el condado de Leicester, y que aún había más por descubrir.

Si se me hubiese preguntado antes que cuántas clases diferentes de escarabajos se podían hallar en un distrito pequeño cercano a una ciudad, es probable que hubiera respondido que cincuenta... he sabido ahora... que existen probablemente mil clases diferentes en un área de un poco más de quince kilómetros.

Esto fue una revelación para Wallace, que conformó su vida y la de su amigo, Henry Bates, quien después realizaría un famoso trabajo sobre el mimetismo entre los insectos.

Mientras tanto, el joven tenía que ganarse la vida. Felizmente fue buena época para un topógrafo, ya que los aventureros del ferrocarril, a partir de 1840, le necesitaban. Wallace fue empleado para inspeccionar una posible ruta de ferrocarriles en el Valle Neath al sur de Gales. Era un técnico concienzudo, al igual que su hermano lo había sido y lo eran los victorianos. Pero sospechaba acertadamente que era un peón en un juego de gigantes. La mayoría de las inspecciones sólo se hacían con objeto de formular una reclamación contra otro magnate ladrón ferroviario. Wallace calculaba que sólo una docena de las líneas inspeccionadas aquel año serían construidas.

La campaña galesa era un deleite para el naturalista dominical, tan feliz con su ciencia como el pintor dominical con su arte. Ahora Wallace podía observar y coleccionar por sí mismo, con excitación creciente, en la variedad de la naturaleza, lo cual recordaría con cariño toda su vida.

Incluso cuando estábamos ocupados, mis domingos eran completamente libres, los cuales empleaba para dar largas caminatas a través de las montañas con mi caja para recolectar, la cual volvía a casa llena de tesoros... En esa época experimentaba yo el placer que produce al amante de la naturaleza todo descubrimiento de una nueva forma de vida, casi idéntico al que sentiría, tiempo después, cada vez que capturaba una nueva mariposa en el Amazonas.

La escala de la creación

Durante uno de sus fines de semana, Wallace descubrió una cueva donde corría un río subterráneo, y decidió de inmediato acampar allí durante la noche. Era como si inconscientemente se estuviese preparando para la vida silvestre.

Queríamos experimentar por vez primera lo que significaba dormir a la intemperie, sin otro abrigo o cama que el que proporciona la naturaleza... Creo que intencionadamente nos habíamos determinado a no preparar nada, sino a acampar como si hubiésemos llegado accidentalmente a un determinado lugar en un paraje desconocido y hubiéramos sido obligados a dormir allí.

De hecho, apenas pudo dormir.

Cuando tenía veinticinco años, Wallace decidió convertirse en naturalista profesional. Era ésta una curiosa profesión victoriana. Ello significaba que tendría que ganarse la vida coleccionando especímenes en zonas extranjeras para venderlos a museos y coleccionistas en Inglaterra. Y Bates le acompañaría. Fue así como ambos partieron en 1848, contando con un capital común de cien libras esterlinas. Navegaron hacia Suramérica, y de allí recorrieron mil quinientos kilómetros a lo largo del Amazonas hasta la ciudad de Manaus, donde el Amazonas confluye con el Río Negro.



Figura 41 Tarde o temprano, entre los placeres y las labores de la selva, un interrogante empezaría a inquietar la mente aguda de Wallace ¿Cómo se había hecho posible toda aquella variedad?.

La densa selva junto a una laguna en el Amazonas.

La escala de la creación

Wallace había viajado escasamente más allá de Gales, pero no se dejó intimidar por lo exótico. Desde el momento de su llegada, sus comentarios fueron firmes y convincentes. Por ejemplo, en el tema de los buitres, registra sus teorías en su *Narrativa de viajes por el Amazonas y el Río Negro*, obra publicada cinco años después.

Abundaban los buitres negros comunes; mas como escaseaba la comida se veían obligados a alimentarse de los frutos de las palmeras de la selva cuando no podían conseguir otro alimento.

Estoy convencido, por frecuentes observaciones, de que los buitres dependen enteramente de la vista, y de ningún modo del olfato, para localizar sus alimentos.

Los amigos se separaron en Manaus y Wallace se embarcó por el Río Negro. Buscaba sitios que casi no hubieran sido explorados por otros naturalistas; pues si iba a ganarse la vida como coleccionista, necesitaba hallar especímenes de especies desconocidas o cuando menos raras. El río había crecido con la lluvia, así que Wallace y sus indígenas podían adentrarse en la selva con la canoa. Los árboles se inclinaban sobre las aguas. Por primera vez, Wallace sentiría miedo ante la lóbreguez, aunque también lo alentaba la variedad de la jungla, y especulaba sobre cómo debería verse todo ello desde el aire.

Lo que podemos aceptar con justicia de la vegetación tropical es que cuenta con un número muy superior de especies, y con una mayor variedad de formas, que las zonas templadas.

Quizá ninguna otra región del mundo albergue tal cantidad de materia vegetal en su superficie como el valle del Amazonas. Toda su extensión, exceptuando algunas porciones muy reducidas, se encuentra cubierta de una densa y tupida vegetación primitiva, la más extensa e intrincada que existe sobre la superficie del planeta.

Toda la magnificencia de estas selvas sólo podría apreciarse desde lo alto de un globo, desplazándose con suavidad sobre la ondulante superficie de la flora: este privilegio tal vez está reservado para el viajero de épocas venideras.

Estaba excitado y atemorizado cuando por vez primera visitó una aldea indígena; pero es una característica de Wallace el que su sensación final siempre era placentera.

La... sensación de sorpresa y deleite más inesperada fue mi primer encuentro y convivencia con el hombre en su estado natural ¡con salvajes absolutamente puros!... Sus trabajos y diversiones eran totalmente dispares de los del hombre blanco y sus costumbres; caminaban con el paso franco del morador independiente de la selva y no reparaban en nosotros, meros extraños de una raza ajena.

Eran originales y autosuficientes en cada detalle, como lo son los animales silvestres de la jungla, totalmente al margen de la civilización, y podían vivir, y vivían, sus vidas de acuerdo con su propio estilo, tal y como lo habían hecho a través de incontables generaciones, antes del descubrimiento de América.

Pero los indígenas no eran feroces sino muy cooperativos. Wallace los motivó y le ayudaron a recolectar especímenes.

Durante mi permanencia en ese lugar (cuarenta días) logré la captura de, cuando menos, cuarenta especies de mariposas totalmente nuevas para mí, a más de una considerable colección de otros insectos.

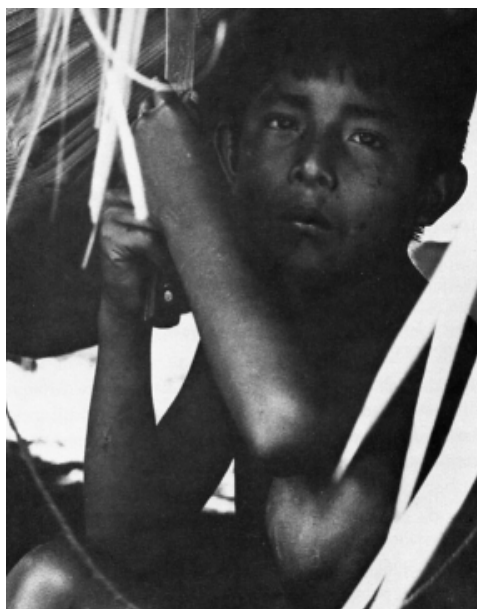
Cierto día logré atrapar un pequeño caimán de una especie rara, que contaba con múltiples aristas y tubérculos cónicos (Caiman gibbus), el cual disequé para regocijo de los indígenas, pues media docena de ellos contempló embelesada la operación.

Tarde o temprano, entre los placeres y las labores de la selva, un interrogante empezaría a inquietar la mente aguda de Wallace. ¿Cómo se había hecho posible toda aquella variedad, tan semejante en diseño y no obstante tan distintas en detalle? Como a Darwin, a Wallace le intrigaron las diferencias entre especies afines y, al igual que aquél, empezó a preguntarse cómo su desarrollo era tan diferente.

No contiene la historia natural parte más interesante o instructiva que el estudio de la distribución geográfica de los animales.

La escala de la creación

En dos lugares que no disten entre sí más de cien o ciento cincuenta kilómetros, se hallan especies de insectos y de aves en el uno que no se pueden encontrar en el otro. Debe existir alguna limitación que determina el ámbito de cada especie; alguna peculiaridad externa que marca una línea divisoria que ninguna de ellas traspasa.



*Figura 42 Los indígenas no eran feroces sino cooperativos.
Niño indígena de la tribu de Akawaio, en la cabecera septentrional del Amazonas, corta tiras de palma.*

Siempre se sintió atraído por los problemas de la geografía. Tiempo después, cuando trabajaba en el archipiélago malayo, demostraría que la fauna de las islas occidentales se parece a la de Asia, y así la de las islas orientales australianas: la línea que las divide aún se conoce como la línea Wallace.

Wallace era un observador agudo tanto del hombre como de la naturaleza, y con el mismo interés en el origen de las diferencias. En una época en que los victorianos llamaban «salvajes» a los habitantes del Amazonas, mostraba él una rara simpatía por su cultura. Comprendía lo que para ellos significaba el lenguaje, la inventiva, las costumbres. Fue quizás la primera persona en valorar el hecho de que la distancia cultural entre aquella civilización y la nuestra es mucho más corta de lo que pensamos. Desde que concibió el principio de la selección natural, este apareció no solo como cierto sino como biológicamente obvio.

La selección natural pudo haber dotado al hombre salvaje con un cerebro algunos grados superior al de los simios, pues aquel posee en realidad un cerebro ligeramente inferior al de un filósofo. Con nuestra llegada se convirtieron en seres en quienes la fuerza sutil que denominamos «mente» adquirió una importancia mucho mayor que la mera estructura corporal.

Fue constante su preocupación por los indígenas, y escribió una narración idílica de la vida de estos durante su estadía en la aldea de Javíta en 1851. Es el momento en que Wallace irrumpe en la poesía; bueno, en el verso.

*Existe una villa indígena; alrededor,
la oscura, eterna, vasta selva despliega
su variado follaje.*

*Aquí moré un tiempo, el único hombre blanco
entre tal vez doscientas almas vivientes.*

La escala de la creación

*Diariamente algún trabajo les reclama. Van ahora
a talar el orgullo de la selva, o en canoa
a pescar con anzuelos, arpones y flechas;
las hojas de las palmeras proveen la techumbre
contra las impetuosas tormentas y diluvios del invierno.*

*Las mujeres extraen raíces de mandioca,
y con gran esfuerzo amasan su pan.*

*Y todas, noche y día, lavan en el río
y cual sirenas chapotean en la límpida corriente.*

*Los niños desnudos andan y
los jóvenes y los hombres sólo taparrabo visten.
¡Cómo me encantaba ver aquellos niños desnudos!
Sus bien formados miembros, su piel marrón, brillante, tersa,
y cada movimiento lleno de gracia y salud;
y como corrían, saltaban, gritaban, nadaban,
o se sumergían en los rápidos del río.*

*Compadezco a los niños ingleses; sus activos
miembros sujetos y confinados dentro de entallados ropajes;
pero más aun compadezco a las doncellas inglesas,
su talle, busto y caderas, todo confinado
¡por ese vil instrumento de tortura llamado corsé!*

*Qué delicia si yo fuera un nativo y viviese alegremente
pescando, cazando y remando en canoa,
y viese crecer a mis hijos, como jóvenes e impetuosos cervatos,
con salud corporal y paz mental,
¡rico sin riquezas y feliz sin oro!*

Es muy diferente la simpatía de los sentimientos que los indígenas suramericanos causarían a Charles Darwin. Cuando éste se encontró con los nativos de Tierra del Fuego quedó horrorizado: esto se aprecia claramente en sus propias palabras y en las ilustraciones de su libro sobre *El viaje del Beagle*. Es indudable que el despiadado clima debía influir en las costumbres de estos indígenas. Mas las fotografías del siglo XIX demuestran que su apariencia no era tan bestial como a Darwin le parecía. En su viaje de regreso, Darwin había publicado un folleto en Cabo Town, conjuntamente con el capitán del *Beagle*, alabando la labor que los misioneros realizaban para cambiar la vida de los salvajes.

Wallace estuvo cuatro años en la cuenca del Amazonas; después empacó sus colecciones y emprendió el regreso a casa.

La fiebre y los escalofríos me volvieron a atacar y pasé varios días con un gran malestar. Tuvimos lluvias casi constantes; y el atender a mis numerosas aves y animales era una gran molestia, debido a lo atestada que iba la canoa y por la imposibilidad de limpiarlos adecuadamente durante las lluvias. Día tras día morían algunos, y en ocasiones hubiera deseado no tener que cuidarlos, aunque, una vez que tomaba alguno en mis manos, me decidía a perseverar.

De un centenar de animales vivos que me fueron vendidos o regalados, quedaron únicamente treinta y cuatro.

El viaje de regreso empezó mal desde un principio. Wallace fue siempre un hombre de mala fortuna.

El 10 de junio salimos [de Manaus], comenzando nuestro viaje de manera muy desafortunada para mí, pues, al abordar, después de decir adiós a mis amigos, perdí mi tucán, el que sin duda había caído por la borda sin que nadie lo notara y pereció ahogado.

La escala de la creación

Su elección de barco resultó de lo más aciaga; pues transportaba una carga de resinas inflamables. Tres semanas después, el 6 de agosto de 1852, la nave se incendió.

Bajé al camarote, ya sofocantemente caliente y lleno de humo; para ver qué valía la pena salvar. Tomé mi reloj y una caja pequeña de hojalata que contenía algunas camisas y un par de viejos cuadernos de notas, con algunos dibujos de plantas y animales, lo cual con dificultad pude subir a cubierta. La mayor parte de mis ropas y de mis dibujos y bocetos quedaron en mi camarote; pero no me aventuré a bajar de nuevo, y de hecho sentí una especie de apatía por tratar de rescatar algo más, la cual nunca he logrado explicarme.

El capitán dio la orden de que todos nos dirigiésemos a los botes de salvamento, y él fue el último en abandonar la nave.

¡Con cuánto entusiasmo había yo buscado insectos raros y curiosos para agregar a mi colección! ¡Cuántas veces, aunque debilitado por las fiebres, me había arrastrado hacia la selva siendo recompensado con algunas especies bellas y desconocidas! ¡Cuántos lugares, jamás recorridos por europeo alguno salvo por mí, permanecerían indelebles en mi memoria, con sus extraños pájaros e insectos que habían aumentado mi colección.

¡Y ahora todo se había ido y no tenía espécimen alguno con qué ilustrar las tierras desconocidas que había recorrido ni las escenas silvestres que había retenido! Mas tales lamentaciones, lo sabía, eran vanas, y trataba de pensar lo menos posible en mis frustradas esperanzas y de concentrarme en el estado de cosas actual.

Alfred Wallace regresó de los trópicos, al igual que Darwin, convencido de que las especies afines divergen de un tronco común, sin acertar a comprender por qué divergen. Lo que Wallace no sabía era que Darwin había encontrado la explicación dos años después de su retorno a Inglaterra, tras su viaje en el *Beagle*. Darwin cuenta que en 1838 había leído el *Ensayo sobre población* del reverendo Thomas Malthus («como pasatiempo», decía Darwin, dando a entender que éste no formaba parte de su lectura formal), siendo impresionado por un pensamiento de este autor. Malthus había dicho que la población se multiplica más rápidamente que los alimentos. Si esto es verdad en los animales, éstos deben competir para sobrevivir, así, pues, la naturaleza actúa como una fuerza selectiva, dando muerte a los débiles, y formando especies nuevas a partir de los sobrevivientes que se han adaptado a su ambiente.

«Por fin contaba con una teoría con la cual podía trabajar», afirmó Darwin. Y cuando alguien expresa algo como esto se puede inferir que se pondrá a trabajar, a escribir documentos, a dictar conferencias. Pues nada de esto ocurrió. Durante cuatro años, Darwin ni siquiera confió la teoría al papel. Sólo en 1842 Darwin escribió un borrador de treinta y cinco páginas, a lápiz; y dos años después lo amplió a doscientas treinta páginas, a tinta. Y depositó este borrador junto con una suma de dinero e instrucciones a su esposa para que lo publicase en caso de que él falleciera.

«Acabo de concluir el borrador de mi teoría de las especies», escribió en una carta formal fechada por ella el 5 de julio de 1844 en Downe, y proseguía:

Y por tanto he escrito esto por si muero repentinamente, como el último y más solemne de mis deseos, al cual estoy seguro que dará cabida legal en mi testamento, y al que aplicará 400 libras para su publicación, y más aún, que usted misma o a través de Hensleigh (Wegdwood) se tome la molestia de promoverlo. Es mi deseo que el borrador le sea entregado a alguna persona competente y que con esta suma de dinero se le induzca a tomarse la molestia de mejorarlo y aumentarlo.

Con respecto a los editores, el Sr. (Charles) Lyell sería el más indicado si decidiera aceptarlo; creo que encontraría interesante esta obra y que conocería algunos hechos nuevos para él.

El Dr. (Joseph Dalton) Hooker sería muy adecuado.

Tengo la sensación de que a Darwin realmente le hubiera gustado morir antes de la publicación de su teoría, siempre que después de su muerte le fuera concedida la primacía. Esto es una muestra de su extraño carácter. Habla de un hombre que sabía que sus afirmaciones iban a

sacudir profundamente al público (como había sucedido con su esposa), al igual que a él, hasta cierto punto, le habían escandalizado. Su hipocondría (sí, argüía una infección contraída en los trópicos para excusarla), sus frascos de medicina, la atmósfera encerrada y asfixiante de su casa y estudio, las siestas por la tarde, su demora en escribir, su negativa a discutir en público; todo ello habla de una mente que no quería enfrentarse con el público.

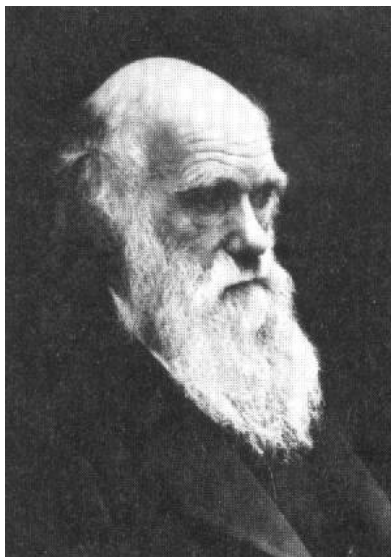


Figura 43 Tengo la sensación de que Darwin realmente le hubiera gustado morir antes de la publicación de su teoría, siempre que después de su muerte le fuera concedida la primacía.

Charles Darwin en sus últimos años, de una fotografía tomada en Downe.

Por supuesto que Wallace, más joven, estaba al margen de todas estas inhibiciones. Tenazmente, a pesar de todos sus contratiempos, se dirigió al Lejano Oriente en 1854, durante ocho años consecutivos viajó por todo el archipiélago malayo con el fin de obtener especímenes de la vida silvestre para venderlos en Inglaterra. Estaba ya convencido de que las especies no son inmutables; publicó en 1855 un ensayo *Sobre la ley que ha regulado la introducción de nuevas especies*; y a partir de entonces «la cuestión de cómo han podido efectuarse los cambios en las especies, rara vez se ha alejado de mi mente».

En febrero de 1858 Wallace enfermó en la pequeña isla volcánica de Ternate en las Malucas, las Islas de las Especies, entre Nueva Guinea y Borneo. Tenía fiebre intermitente, con frío y calor alternados, y le asaltó un pensamiento caprichoso. Ahí, en una noche febril, recordó el mismo libro de Malthus y vislumbró la misma explicación que ya antes había impresionado a Darwin.

Se me ocurrió formular la pregunta, ¿por qué algunos mueren y otros viven?. Y la respuesta era, obviamente, que de todos sobreviven los mejor adaptados. Los más saludables escapan de los efectos de la enfermedad; de sus enemigos, los más fuertes, los más veloces o los más astutos de la inanición, los mejores cazadores o aquellos con mejor digestión; y así sucesivamente.

De pronto comprendí que la siempre presente variabilidad de los seres vivos proporcionaría el material a partir del que, por la mera supresión de los menos adaptados a las condiciones prevaletientes, permitiría únicamente a los mejor adaptados la perpetuación de la raza.

Se me había presentado súbitamente la teoría de la supervivencia de los mejor dotados.

A medida que pensaba más en ello más me convencía de que había encontrado la ansiada ley natural que daría respuesta al problema del origen de las especies. Esperaba con impaciencia reponerme para poder realizar anotaciones sobre el particular. Aquella misma noche y las dos siguientes lo escribí cuidadosamente para enviárselo a Darwin en el siguiente correo, que partiría en uno o dos días.

La escala de la creación

Wallace sabía que Charles Darwin estaba interesado en el asunto y sugirió que Darwin le mostrase el documento a Lyell si creía que tenía sentido.

Darwin recibió el documento de Wallace en su estudio de la Down House cuatro meses después, el 18 de junio de 1858. Estaba desconcertado sobre qué hacer. Durante veinte años, con sumo cuidado y sigilo, había ordenado los hechos que apoyarían su teoría; y ahora, repentinamente, surgido de la nada, sobre su escritorio se encontraba un documento del que escribiría lacónicamente el mismo día:

Jamás vi coincidencia más impresionante, ¡si Wallace tuviera mi borrador escrito en 1842, no habría podido realizar un resumen mejor!

Pero los amigos de Darwin solucionaron el dilema. Lyell y Hooker, que ya habían visto parte de su trabajo, hicieron los arreglos para que el documento de Wallace, así como el de Darwin, fuesen leídos en ausencia de ambos en la próxima sesión de la Linnean Society, a efectuarse en Londres en el mes siguiente.

Los documentos no suscitaron ningún revuelo. Pero la mano de Darwin había sido forzada. Wallace era, como Darwin lo describiera, «generoso y noble». Y así Darwin escribió *El origen de las especies* y lo publicó a fines de 1859; el libro obtuvo una acogida sensacional, convirtiéndose en un *bestseller*.

La teoría de la evolución por selección natural fue ciertamente la más importante innovación científica individual del siglo XIX. Una vez aplacada la polvareda de necedades y culteranismo que levantó, el mundo viviente era diferente porque era visto como un mundo en movimiento. La creación no es estática sino que cambia con el tiempo, a diferencia de los procesos físicos. El mundo físico de diez millones de años atrás era igual que el actual y sus leyes eran las mismas. Pero el mundo viviente no permanece igual; por ejemplo, hace diez millones de años no había seres humanos que los discutiesen. En contraste con la física, toda generalización concerniente a la biología es un segmento en el tiempo; y es la evolución la creadora real de originalidad y novedad en el universo.

Si esto es verdad, entonces cada uno de nosotros ha trazado su propia línea a través de los procesos evolutivos desde la aparición de la vida. Darwin, por supuesto, y Wallace observaron el comportamiento, observaron los huesos tal y como son en la actualidad, los fósiles como eran, para marcar los puntos del ciclo del que usted y yo procedemos. Mas el comportamiento, los huesos, los fósiles de por sí forman sistemas vitales complejos, reunidos a partir de unidades que son más simples y que deben ser más antiguas. ¿Cuáles podrán ser las unidades primarias más simples? Presumiblemente lo son las moléculas químicas que caracterizan a la vida.

Así, pues, cuando miramos retrospectivamente por el origen común de la vida, lo haremos más profundamente: en la química que todos compartimos. La sangre en mi dedo en este momento ha experimentado millones de cambios desde que las moléculas primitivas tuvieron capacidad autorreproductiva, hace más de tres mil millones de años. Eso es la evolución en su concepción contemporánea. El proceso por el cual esto ha ocurrido depende parcialmente de la herencia (lo que no comprendieron realmente ni Darwin ni Wallace) y también en parte de la estructura química (terreno mejor conocido por los científicos franceses que por los naturalistas británicos). Las explicaciones surgen al unísono de diversos campos, pero todas cuentan con un elemento común. Conciben a las especies separándose una tras otra, en etapas sucesivas; factor implícito que presupone la aceptación de la teoría de la evolución. Y a partir de ese momento ya no sería posible creer que la vida pudiese ser vuelta a crear en ninguna otra época.

Cuando la teoría de la evolución presupuso que algunas especies animales habían hecho su aparición en épocas más recientes que otras, los críticos respondían frecuentemente con citas bíblicas. Sin embargo, la mayoría de las gentes admitía que la creación no se había detenido en

la Biblia. Había la creencia de que el Sol formaba cocodrilos del fango del Nilo. Se suponía que los ratones se generaban en montones de trapos viejos y sucios; y era evidente que el origen de las moscardas era la carne descompuesta. Los gusanos debían ser creados dentro de las manzanas, pues, ¿de qué otra forma se explicaría su presencia allí? Y se suponía que todas estas criaturas surgían espontáneamente a la vida sin la intervención de progenitores.



Figura 44 Fotografía de Wallace admirando un Eremurus Robustus que floreció en su jardín en 1905.

Las fábulas acerca de cómo las criaturas surgen espontáneamente a la vida son muy antiguas y todavía son creídas, pese a que Louis Pasteur las confutó bellamente a partir de 1860. Efectuó buena parte de ese trabajo durante su infancia, en el hogar paterno de Arbois, en la campiña francesa del Niza, al cual solía regresar todos los años. Ya para entonces había realizado trabajos sobre la fermentación, particularmente acerca de la fermentación de la leche (la palabra «pasteurización» nos lo recuerda). Pero alcanzaría la cúspide de su poderío en 1863 (contaba cuarenta años de edad) cuando el Emperador de Francia le pidió que investigase qué marchaba mal en la fermentación del vino, problema que resolvió en dos años. Resulta irónico recordar que aquellos figuran entre los mejores años vinícolas de que se tenga memoria; hasta nuestros días, el año de 1864 se recuerda, en ese sentido, como ningún otro.

«El vino es un mar de organismos», afirmó Pasteur «Merced a algunos vive, merced a otros se descompone». Hay dos elementos sorprendentes en este pensamiento. Uno es que Pasteur encontró organismos que viven sin oxígeno. Esto representaba una molestia para los vinicultores de entonces; pero a partir de ese momento se ha hecho crucial para la comprensión del inicio de la vida, pues en ese entonces la Tierra carecía de oxígeno. Y el segundo elemento es que Pasteur era poseedor de una técnica admirable, mediante la cual podía observar los vestigios de vida en el líquido. A partir de los veinte años se había creado una reputación al demostrar que existen moléculas de forma característica. Esta era por tanto una pista con la cual rastrear a través del proceso vital. Este resultó ser un proceso tan profundo y, aun para nosotros, tan enigmático, que es conveniente echar una ojeada al propio laboratorio de Pasteur y a sus propias palabras.

¿Cómo puede explicarse el proceso del vino al fermentarse, la masa dejada crecer; o agriarse la leche cortada; o convertirse en humus las hojas muertas y las plantas enterradas en el suelo? Debo de hecho

confesar que mis investigaciones han estado imbuidas con intensidad por la idea de que la estructura de las sustancias, desde el punto de vista siniestro y diestro (si todo lo demás es igual), juega una parte importante en las leyes más íntimas de la organización de los seres vivos, adentrándose en los más oscuros confines de su fisiología.

Mano derecha; mano izquierda; esta fue la pista profunda que Pasteur siguió en su estudio de la vida. El mundo está saturado de ejemplos cuya versión diestra difiere de la versión siniestra: un sacacorchos diestro opuesto a otro siniestro; un caracol diestro opuesto a otro siniestro. Pero particularmente las dos manos; se pueden acoplar una sobre otra, mas no volverlas de modo tal que la mano derecha y la izquierda se tornen intercambiables. Esto era conocido en tiempos de Pasteur, e incluso ya se aplicaba a algunos cristales cuyas facetas están dispuestas en forma tal que existen versiones derecha e izquierda.

Pasteur realizó modelos en madera de tales cristales (poseía habilidad manual y era un espléndido dibujante), pero mucho más que eso, concibió modelos intelectuales. En su primera pieza de investigación había dado con la noción de que debían existir también moléculas diestras así como siniestras; y lo que era verdad acerca del cristal debía reflejar una propiedad de la propia molécula. Y esto debería ser extensivo para el comportamiento de las moléculas en cualquier situación asimétrica. Por ejemplo, cuando son colocadas dentro de una solución y brilla un rayo de luz polarizado (que es asimétrico) a través de ellas, las moléculas de una clase (digamos, por conveniencia, las moléculas que Pasteur denominó diestras) deberán rotar el plano de polarización de la luz hacia la izquierda. Una solución de cristales correspondientes todos a una misma forma se dirigirán asimétricamente hacia el rayo de luz asimétrico producido por un polarímetro. Conforme gira el disco polarizante, la solución se verá alternadamente oscura y luminosa y oscura y luminosa de nuevo.

El hecho más notable es que ocurre exactamente lo mismo en una solución que contenga células vivas. Aún no sabemos por qué la vida cuenta con esta extraña propiedad química. Mas la propiedad establece que la vida tiene un carácter químico específico, el cual se ha mantenido a través de la evolución. Por primera vez Pasteur había eslabonado todas las formas de vida con una sola clase de estructura química. De este poderoso pensamiento se desprende que podremos eslabonar la evolución con la química.

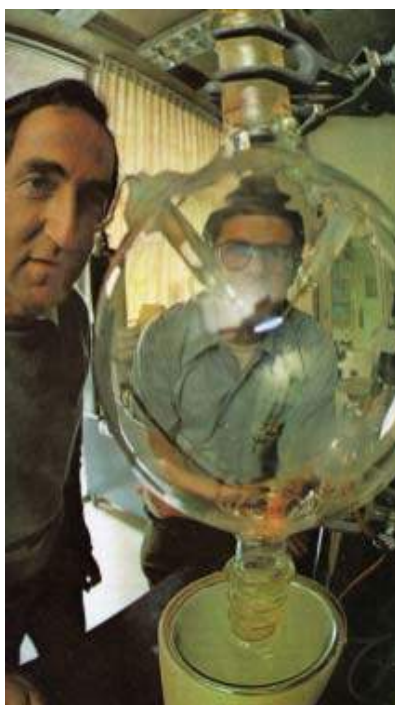
La teoría de la evolución no es ya un campo de batalla. Esto se debe a que la evidencia en pro de ella es mucho más rica y más variada ahora que en los días de Darwin y Wallace. La evidencia más interesante y moderna proviene de la química de nuestro propio cuerpo. Permítaseme dar un ejemplo práctico: me es dado mover la mano en este momento porque sus músculos contienen un depósito de oxígeno, el cual se encuentra ahí gracias a una proteína llamada mioglobina. Esta proteína está formada por un poco más de ciento cincuenta aminoácidos. El número es igual en mí que en cualquier animal que haga uso de la mioglobina. Pero los mismos aminoácidos tienen ligeras variantes. Entre mí y un chimpancé existe sólo una diferencia en un aminoácido; entre mí y un mono *bush* (que es un primate menos evolucionado) existen algunas diferencias en los aminoácidos; y finalmente, entre mí y la oveja o el ratón, el número de diferencias se incrementa. El número de diferencias en los aminoácidos es la medida de la distancia evolutiva entre mí y los demás mamíferos.

Está claro, pues, que debemos buscar el progreso evolutivo de la vida en la producción de moléculas típicas. Y esa producción debe comenzar a partir de los materiales en ebullición al formarse la Tierra. Para hablar con sensatez acerca de la aparición de la vida habremos de ser sumamente realistas. Tendremos que formular una pregunta histórica. Cuatro mil millones de años atrás, antes del comienzo de la vida, cuando la Tierra era muy joven, ¿cómo era su superficie?, ¿cómo era su atmósfera?

Muy bien, contamos con una respuesta aproximada. La atmósfera era expelida desde el interior de la Tierra, y era, por tanto, algo como una zona volcánica de nuestros días: un caldero de vapor, nitrógeno, metano, amoníaco, otros gases reducidos, así como un poco de bióxido de

carbono. Un gas estaba ausente: no había oxígeno libre. Esto es fundamental, ya que el oxígeno es producido por las plantas, y no existía en estado libre antes de la aparición de la vida.

Al disolverse débilmente en los océanos, estos gases y sus productos formaron una atmósfera reducida. ¿Cómo reaccionarían después bajo la acción de los relámpagos, de las descargas eléctricas, y particularmente bajo la acción de los rayos ultravioletas, que revisten gran importancia en toda teoría de la vida en virtud de que pueden penetrar en ausencia de oxígeno? Esta pregunta fue respondida a través de un bello experimento realizado por Stanley Miller en los Estados Unidos hacia 1950. Reprodujo la atmósfera en un matraz: el metano, el amoníaco, el agua, etc., y trabajó con ellos días tras día; hacía hervir el compuesto y le aplicaba descargas eléctricas simulando los rayos y otras fuerzas violentas. Y el compuesto se oscureció ostensiblemente. ¿Por qué? Porque, la prueba lo demostró, se habían formado aminoácidos. Este es un crucial paso al frente, puesto que los aminoácidos son los componentes primarios de la vida. A partir de ellos se producen las proteínas, que son constituyentes de todos los seres vivos.



*Figura 45 Los aminoácidos constituyen los componentes de la vida.
Leslie Orgel y Roberto Sánchez junto a un aparato de descarga de arco en el Instituto Salk
No son hominículos los que aparecen en el aparato de Miller: son aminoácidos.*

Solíamos creer hasta hace unos cuantos años, que la vida debía haber comenzado en tales eléctricas y ardientes condiciones. Mas súbitamente empezó a surgir en la mente de algunos científicos la idea de que podría existir otro conjunto de condiciones externas igualmente poderoso; o sea, la presencia del hielo. Era una rara teoría; pero el hielo posee dos propiedades que lo hacen muy apropiado en la formación de moléculas simples, básicas. Ante todo, el proceso de congelamiento reúne la materia que al principio del tiempo debió de haber estado muy diluida en los océanos. Y en segundo término, pudo haber ocurrido que las estructuras cristalinas del hielo hiciesen posible que las moléculas se alineasen de un modo que es ciertamente importante en cada etapa del ciclo vital.

Sea lo que fuere, Leslie Orgel realizó una serie de elegantes experimentos que describiré de la manera más sencilla. Se proveyó de algunos de los constituyentes básicos que con seguridad habrán estado presentes en la atmósfera terrestre de épocas primitivas: uno fue el cianuro de hidrógeno y otro el amoníaco. Elaboro con ellos una solución diluida en agua, la cual congelé

durante algunos días. Como resultado de eso, la materia concentrada fue empujada hacia arriba por pequeños témpanos, y el cambio de coloración en esa zona revelaba la formación de moléculas orgánicas. Algunos aminoácidos, sin duda; pero, más importante, Orgel demostró que había formado uno de los constituyentes del alfabeto genético que dirige toda vida. Obtuvo adenina, uno de los cuatro componentes básicos DNA (ver pág. 168). Puede ser que el alfabeto vital en DNA se hubiera formado en esas condiciones y no en condiciones tropicales.

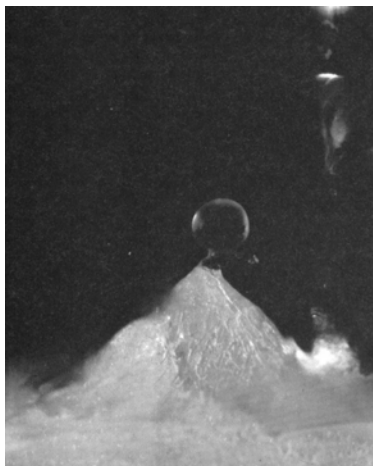


Figura 46 La materia concentrada es empujada hacia arriba en una especie de pequeño témpano.

Formación de la adenina a partir de una solución congelada de cianuro de hidrógeno y amoníaco.

El problema del origen de la vida se concentra no en las moléculas complejas, sino en las más simples con capacidad de autorreproducción. Esta habilidad de replicar copias operantes de la misma molécula es lo que caracteriza a la vida; y, en consecuencia, la cuestión del origen de la vida conlleva la cuestión de si las moléculas básicas, identificadas por los trabajos de la generación presente de biólogos, se pudieron haber formado merced a procesos naturales. Sabemos lo que estamos buscando en los inicios de la vida: moléculas simples, básicas, como las llamadas bases (adenina, tiamina, guanina, citosina) que componen las espirales del DNA que se autorreproducen durante la división de cualquier célula. El curso subsecuente por el que los organismos se han vuelto más y más complejos es entonces un problema diferente y estadístico, a saber, la evolución de la complejidad por procesos estadísticos.

Es natural preguntarse si las moléculas que se copian a sí mismas surgieron muchas veces y en múltiples lugares. No hay respuesta a esta pregunta como no sea por deducciones, que habrán de estar cimentadas en nuestra interpretación de la evidencia proporcionada por los seres vivos actuales. Hoy día la vida está controlada por unas cuantas moléculas; o sea, las cuatro bases del DNA. Estas descifran el mensaje de la herencia en toda criatura conocida, desde una bacteria hasta un elefante, desde un virus hasta una rosa. Una conclusión que se puede sacar de esta uniformidad del alfabeto de la vida es que éstos son los únicos arreglos atómicos a cuyo cargo está la secuencia de la replicación de sí mismos.

Sin embargo, no hay muchos biólogos que crean esto. La mayoría de ellos piensan que la naturaleza puede inventar otros sistemas de «autocopiado»; las posibilidades deben ser sin duda más numerosas que las cuatro con que contamos. Si esto es verdad, entonces la razón por la cual la vida que conocemos se encuentra dirigida por las mismas cuatro bases es que *sucedio* que la vida empezó con ellas. En tal interpretación, las bases son prueba de que la vida sólo comenzó una vez. Después de ello, al surgir cualquier nuevo arreglo, simplemente no se podía eslabonar a las formas de vida ya existentes. Ciertamente que ya nadie cree ahora que la vida se sigue creando de la nada aquí en la Tierra.

La escala de la creación

La biología ha sido afortunada al descubrir, en un lapso de cien años, dos teorías enormes y trascendentales. Una fue la de Darwin y Wallace, la teoría de la evolución por selección natural. La otra fue el descubrimiento, por nuestros propios contemporáneos, de cómo expresar los ciclos vitales a través de formas químicas que los ligan con la naturaleza como un todo.

¿Eran privativos de nosotros los elementos químicos existentes en la Tierra durante la aparición de la vida? Solíamos creer que sí. Pero la evidencia más reciente indica otra cosa. En los últimos años se han encontrado vestigios espectrales de moléculas en los espacios interestelares, las cuales nunca se creyó que podrían formarse en tan frías regiones: cianuro de hidrógeno, cianoacetileno, formaldehído. Estas son moléculas que supuestamente no existirían en otro sitio más que en la Tierra. Podría resultar que la vida ha tenido inicios más variados y que presenta formas también más variadas. Y esto no significa que el ciclo evolutivo de la vida (si lo descubrimos) surgido en cualquier otro sitio deba parecerse al nuestro. No significa siquiera que habremos de reconocerlo como vida... ni que él nos reconocerá como poseedores de la misma.

10 UN MUNDO DENTRO DEL MUNDO

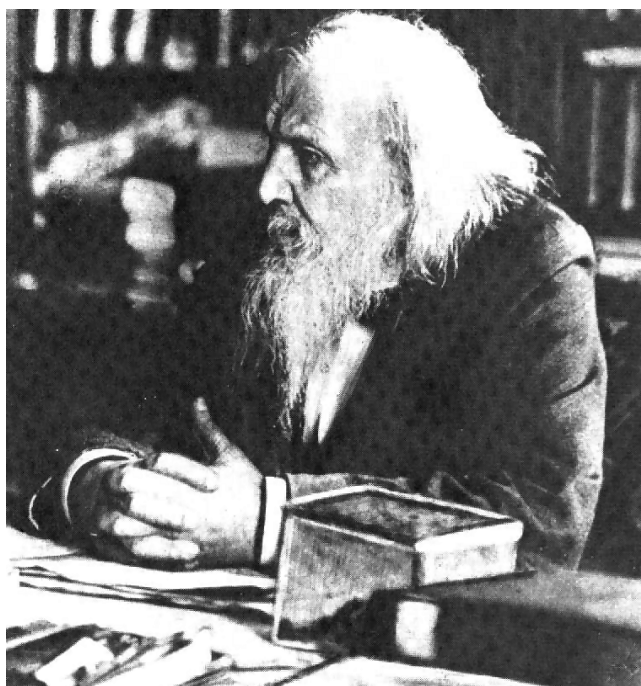
Existen en la naturaleza siete formas básicas de cristales y una multitud de colores. Las formas siempre han fascinado al hombre, como figuras en el espacio y como descripciones de la materia; los griegos creían que sus elementos estaban formados realmente como los sólidos regulares. Y es verdad, en términos modernos, que los cristales de la naturaleza expresan algo acerca de los átomos que los componen: ayudan a colocar los átomos en familias. Este es el mundo de la física en nuestro propio siglo y los cristales son una primera apertura hacia ese mundo.

De toda la variedad de cristales, el cubo sencillo e incoloro de la sal común es el más modesto; y, no obstante, es sin duda uno de los más importantes. La sal ha sido extraída de la gran mina de Wieliczka, cerca de la antigua capital polaca de Cracovia, durante casi un milenio, y algunas de las construcciones en madera, así como maquinaria tirada por caballos, han sido preservadas desde el siglo XVII. El alquimista Paracelso pudo haber pasado por este sitio en sus viajes al Oriente. El cambió el curso de la alquimia a partir del año 1550 d. de C, al insistir en que la sal debe contarse como uno de los elementos constitutivos del hombre y de la naturaleza. La sal es esencial para la vida y ha tenido siempre una cualidad simbólica en todas las culturas. Como los soldados romanos, seguimos llamando «salario» a la paga que recibe un hombre, aunque significa «dinero de sal». En el Oriente Medio un pacto se sigue sellando con sal en lo que el Antiguo Testamento denomina «un convenio de sal para siempre».

Paracelso estaba equivocado en un respecto la sal; no es un elemento en el sentido moderno. La sal es un compuesto de dos elementos: sodio y cloro. Resulta notable que un metal blanco efervescente como el sodio y un gas tóxico y amarillento como el cloro terminen formando una estructura estable: la sal común. Pero lo más notable es que el sodio y el cloro pertenezcan a familias. Existe un orden gradual de propiedades similares dentro de cada familia: el sodio, pertenece a la familia de los metales alcalinos, mientras que el cloro pertenece a la de los halógenos activos. Los cristales permanecen inmutables, cúbicos y transparentes cuando cambiamos un miembro de una familia por otro. Por ejemplo, el sodio puede con certeza ser reemplazado por el potasio: el cloruro de potasio. De manera semejante, en la otra familia el cloro puede ser reemplazado por su elemento afín: el bromuro de sodio. Y, naturalmente, podemos realizar un doble cambio: el fluoruro de litio, en que el sodio ha sido reemplazado por el litio y el cloro por el fluoruro. Y sin embargo, los cristales no se pueden apreciar a simple vista.

¿Qué origina esta afinidad familiar entre los elementos? Hacia 1860 se manifestaba una fuerte inquietud con respecto a esto, y algunos científicos se inclinaban por respuestas bastantes similares. El hombre que resolvería el problema de manera triunfal sería un joven ruso llamado Dmitri Ivanovich Mendeleev, que visitó la mina de sal de Wieliczka en 1859. Contaba veinticinco años a la sazón; era un joven pobre, modesto, trabajador y brillante. Hijo menor de una numerosa familia de cuando menos catorce vástagos, había sido el predilecto de su viuda progenitora, quien lo encauzaría por el camino de la ciencia en su afán porque se superase.

Se distinguía Mendeleev no sólo por su genio sino por su pasión por los elementos. Se convirtieron en sus amigos personales; conocía cada detalle y cada subterfugio de su comportamiento. Por supuesto que cada uno de los elementos se distinguía por una sola propiedad básica, propuesta originalmente por John Dalton en 1805: cada elemento posee un peso atómico característico. ¿Cómo surgen las propiedades que los hacen iguales o diferentes, a partir de esa única constante o parámetro? Este era el problema subyacente y Mendeleev trabajó en él. Anotó los elementos en tarjetas, las cuales barajaba en un juego que sus amigos solían llamar *Paciencia*.



*Figura 47 Se distinguía Mendeleev no sólo por su genio sino por su pasión por los elementos.
Dmitri Ivanovich Mendeleev.*

Mendeleev anotó en estas tarjetas los átomos y sus pesos atómicos, disponiéndolos en columnas verticales de acuerdo con sus pesos atómicos. Al no saber qué hacer con el más ligero, el hidrógeno, decidió dejarlo fuera del esquema. El siguiente en peso atómico es el helio, pero, afortunadamente, Mendeleev no lo sabía porque no se había hallado en la Tierra; hubiera sido un elemento muy difícil de ubicar debido a que sus elementos hermanos se encontrarían muy posteriormente.

Por lo tanto, Mendeleev inició su primera columna con el elemento litio, uno de los metales alcalinos. Así, el primero fue el litio (el más ligero que conocía después del hidrógeno), seguía el berilio, luego el boro, después los elementos familiares, carbono, nitrógeno, oxígeno y, como séptimo elemento de la columna, el flúor. El siguiente elemento en el orden de los pesos atómicos es el sodio y, como posee una semejanza familiar con el litio, Mendeleev decidió que este era el sitio para iniciar y formar una segunda columna paralela a la primera. La segunda columna prosigue con una secuencia de elementos familiares: magnesio, aluminio, silicio, fósforo, azufre y cloro. Y, desde luego, forman una columna completa de siete elementos, de modo que el último elemento, cloro, aparece en la misma línea horizontal que el flúor.

Evidentemente, existe algo en la secuencia de los pesos atómicos que no es accidental sino sistemático. Se manifiesta claramente de nuevo conforme iniciamos la siguiente columna, la tercera. Los otros elementos, siguiendo el orden de los pesos atómicos, después del cloro, son el potasio y el calcio; De este modo, en el primer renglón aparecen el litio, el sodio y el potasio, todos ellos metales alcalinos; en el segundo aparecen hasta ahora el berilio, el magnesio y el calcio, metales estos pertenecientes a otro grupo familiar. El hecho es que los elementos dispuestos horizontalmente tienen sentido: reúnen a las familias. Mendeleev había encontrado, o cuando menos detectado, la evidencia de una clave matemática entre los elementos. Si los disponemos siguiendo el orden de su peso atómico, habremos de efectuar siete pasos para formar una columna vertical y pasar después a la siguiente; entonces obtenemos la secuencia familiar siguiendo la en los renglones horizontales.

H ₁	Li ₇	Na ₂₃	K ₃₉
	Be ₉	Mg ₂₄	Ca ₄₀
	B ₁₁	Al ₂₇	
	C ₁₂	Si ₂₈	Ti ₄₈
	N ₁₄	P ₃₁	
	O ₁₆	S ₃₂	
	F ₁₉	Cl ₃₅	Br ₈₀

Figura 48. Juego de Paciencia de Mendeleev.

Las cartas están colocadas de acuerdo a su peso atómico: los elementos se agrupan en familias.

Hasta ahora hemos seguido el esquema de Mendeleev tal y como fue planteado en 1871, dos años después de su concepción inicial. Nada ha roto la continuidad hasta la tercera columna; pero en este punto surge, inevitablemente, el primer problema. ¿Por qué inevitablemente? Porque, como podemos apreciar en el caso del helio, Mendeleev no disponía de todos los elementos. Del total de noventa y dos se conocían sesenta y tres; por lo tanto, tarde o temprano se tendría que topar con lagunas. Y la primera aparecería donde yo me detuve, en el tercer renglón de la tercera columna.

He dicho que Mendeleev se topó con una laguna, pero esta forma de abreviar las palabras reduce lo que es más extraordinario de su genio. En el tercer renglón de la tercera columna se halló, efectivamente, ante un problema, el cual resolvió *interpretándolo* como una laguna. Lo hizo así porque el siguiente elemento conocido, el titanio, carece de las propiedades que le harían encajar ahí, en el mismo renglón o familia del boro y del aluminio. Y afirmó: «Falta un elemento en este sitio y, cuando sea encontrado, su peso atómico lo colocará antes del titanio. El descubrir la laguna colocará los últimos elementos de la columna en los renglones correctos; el titanio corresponde con el carbono y el silicio». Como ciertamente ocurre en el esquema básico.

El concepto de lagunas o elementos faltantes fue una inspiración científica. Expresaba en términos prácticos lo que Francis Bacon había propuesto en términos generales mucho tiempo atrás la creencia de que los aspectos nuevos de una ley de la naturaleza se puedan adivinar o colegir por anticipado a partir de sus aspectos antiguos. Y las deducciones de Mendeleev demostrarían que el hecho de colegir constituye un proceso más sutil, cuando está en manos de un científico, de lo que Bacon y otros filósofos suponían. En ciencia no se marcha siguiendo

una progresión lineal desde los hechos conocidos hasta los desconocidos. En cambio, se trabaja como en un crucigrama, analizando los puntos en que dos progresiones separadas se intersecan: es ahí donde se ocultan los hechos desconocidos. Mendeleev seleccionó la progresión de los pesos atómicos en las columnas – y la similitud familiar en los renglones – para poder destacar los elementos faltantes en las intersecciones. Al hacerlo así, obtenía conjeturas prácticas y también manifestaba (lo que aún se comprende escasamente) cómo los científicos modernos llevan a cabo el proceso de inducción.

Ahora bien, los puntos de mayor interés son los huecos que hay en la tercera y cuarta columnas. No procederé a la elaboración ulterior de la tabla; excepto para mencionar que, cuando contamos los huecos o lagunas y seguimos hacia abajo, con toda seguridad que la columna terminará donde es debido: con el bromo, en la familia halógena. Había un buen número de huecos, y Mendeleev distinguió tres. El primero es el que he mencionado y que se encuentra en el tercer renglón de la tercera columna. Los otros dos se ubican en la cuarta columna, en los renglones tercero y cuarto. Y de éstos Mendeleev profetizó que, al ser descubiertos, se encontraría no sólo que poseen pesos atómicos que se ajustan a la progresión vertical sino que presentan aquellas características propias de las familias de los renglones tercero y cuarto.

Por ejemplo, la más famosa de las predicciones de Mendeleev – y la última en ser confirmada – fue la tercera, a la cual bautizó como *ekasilicio*. Predijo con gran exactitud las propiedades de este extraño e importante elemento; pero no sería hallado sino hasta casi veinte años después, en Alemania, y rebautizado como *germanio*. Partiendo del principio de que «el ekasilicio tendrá propiedades intermedias entre el silicio y el estaño», había predicho que sería 5,5 veces más pesado que el agua; esto era correcto. Había predicho que su óxido sería 4,7 veces más pesado que el agua; también era correcto. Y así por el estilo con otras propiedades químicas.

Estas predicciones hicieron famoso a Mendeleev en todas partes... menos en Rusia: no fue profeta en su tierra, debido a que al Zar no le agradaban sus ideas políticas liberales. El descubrimiento posterior en Inglaterra de todo un nuevo renglón de elementos, empezando con el helio, el neón y el argón, subrayaría su triunfo. Nunca sería elegido miembro de la Academia Rusa de Ciencias, pero su nombre era mágico en el resto del mundo.

El patrón subyacente de los átomos es numérico, esto estaba claro. Y, sin embargo, esta no puede ser toda la historia; debe faltar algo. Sencillamente, no tiene sentido el creer que todas las propiedades de los elementos estén condensadas en un número, el peso atómico: el cual esconde, ¿qué? El peso de un átomo debe ser una medida de su complejidad. De ser así, debe ocultar alguna estructura interna, alguna forma por la que el átomo se halla unido físicamente y la cual genera aquellas propiedades. Pero, evidentemente, como idea era inconcebible en tanto se creyera que el átomo es indivisible.

Y esta es la razón por la que el cambio de rumbo se presenta en 1897, cuando J. J. Thomson descubre el electrón en Cambridge. Sí, el átomo tiene partes constitutivas; no es indivisible, como implicaba su nombre griego. El electrón es una parte mínima de su masa o peso, pero una parte real, y porta una sola carga eléctrica. Cada elemento se caracteriza por el número de electrones en sus átomos. Y su número es exactamente igual al que le corresponde en la tabla de Mendeleev, que ocupa el elemento cuando el hidrógeno y el helio se incluyen en los lugares primero segundo, O sea, que el litio tiene tres electrones, el berilio tiene cuatro, el boro cinco, y así sucesiva y consistentemente a través de la tabla. El sitio que ocupa un elemento en la tabla se conoce como su peso atómico, en el que, para una realidad física, su átomo va de acuerdo con el número de electrones que presente. El panorama ha cambiado de peso atómico a número atómico, lo cual significa, esencialmente, a estructura atómica.

Este es el avance intelectual con el que se inicia la física moderna. Aquí empieza la gran era. En aquellos años, la física se convierte en la más grande obra colectiva de la ciencia; más aún en la mayor obra de arte de conjunto del siglo veinte.

He dicho «obra de arte», porque la noción de que existe una estructura subyacente, un mundo dentro del mundo del átomo, sedujo la imaginación de los artistas inmediatamente. A partir del año 1900, el arte es distinto al precedente, como se puede apreciar en cualquier pintor original de la época: Umberto Boccioni, por ejemplo, en *Las fuerzas de la calle* o en su *Dinamismo de un ciclista*. El arte moderno principia al mismo tiempo que la física moderna porque ambos parten de las mismas ideas.

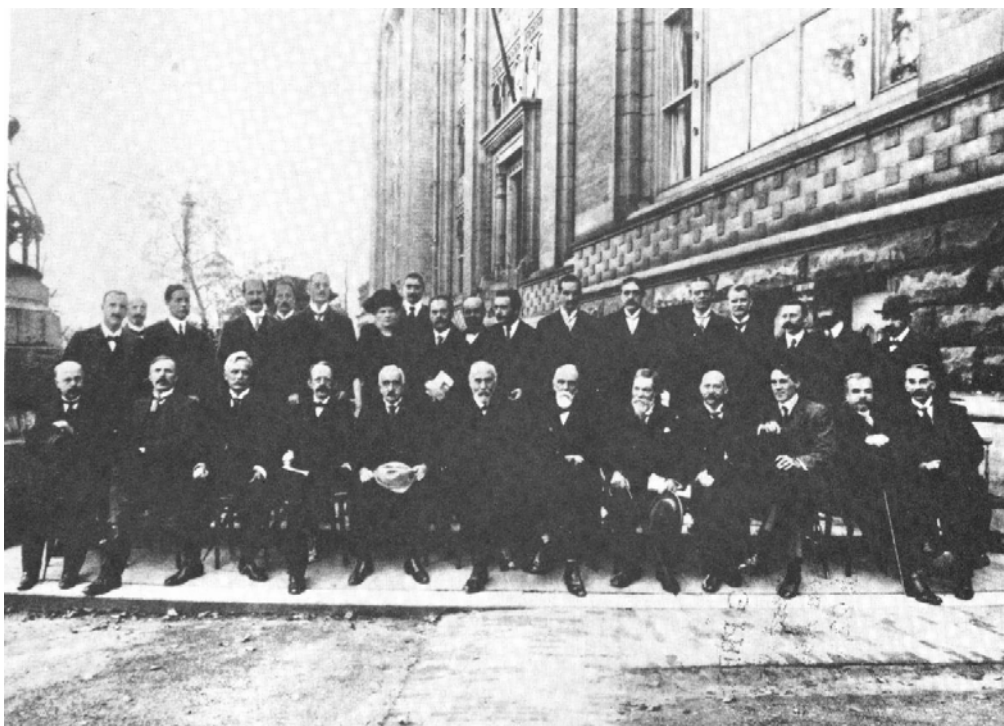


Figura 49. Primera conferencia de Solvay de 1911. Rutherford es el segundo sentado, y J. J. Thomson el cuarto de esa misma fila. Einstein es el undécimo, y Marie Curie la séptima de la izquierda en la hilera posterior.

Desde el tiempo de la *Optica* de Newton, los pintores se habían interesado en la superficie multicolor de los objetos. El siglo XX cambió esto. Como las radiografías de Röntgen, buscaban el hueso bajo la piel y la profunda, sólida estructura, que, desde el interior, da la forma total de un objeto o de un cuerpo. Un pintor, Juan Gris, se adentra en el análisis de la estructura, ya mire a formas naturales en *Naturaleza muerta*, o a la figura humana en *Pierrot*.

Los pintores cubistas, por ejemplo, están inspirados, evidentemente, en las familias de los cristales. Ven en ellos la forma de una aldea o de una colina, como hizo Georges Braque en sus *Casas junto al estanque*, o un grupo de mujeres como las pintó Picasso en *Las damiselas de Avignon*. En el famoso inicio de Pablo Picasso como pintor cubista – un solo rostro, el *Retrato de Daniel Henry Kahnweiler* – el interés se ha mudado de la piel y las facciones a la geometría subyacente. La cabeza ha sido descompuesta en formas matemáticas y rehecha como una reconstrucción, una recreación, de dentro hacia fuera.

Es sorprendente esta nueva búsqueda en los pintores del norte de Europa: Franz Marc, por ejemplo, cuando se contempla el paisaje natural en su *Ciervo en un bosque*; y (un favorito de los científicos) el cubista Jean Metzinger, cuya *Mujer a caballo* pertenecía a Niels Bohr, que coleccionaba pinturas en su casa de Copenhague.

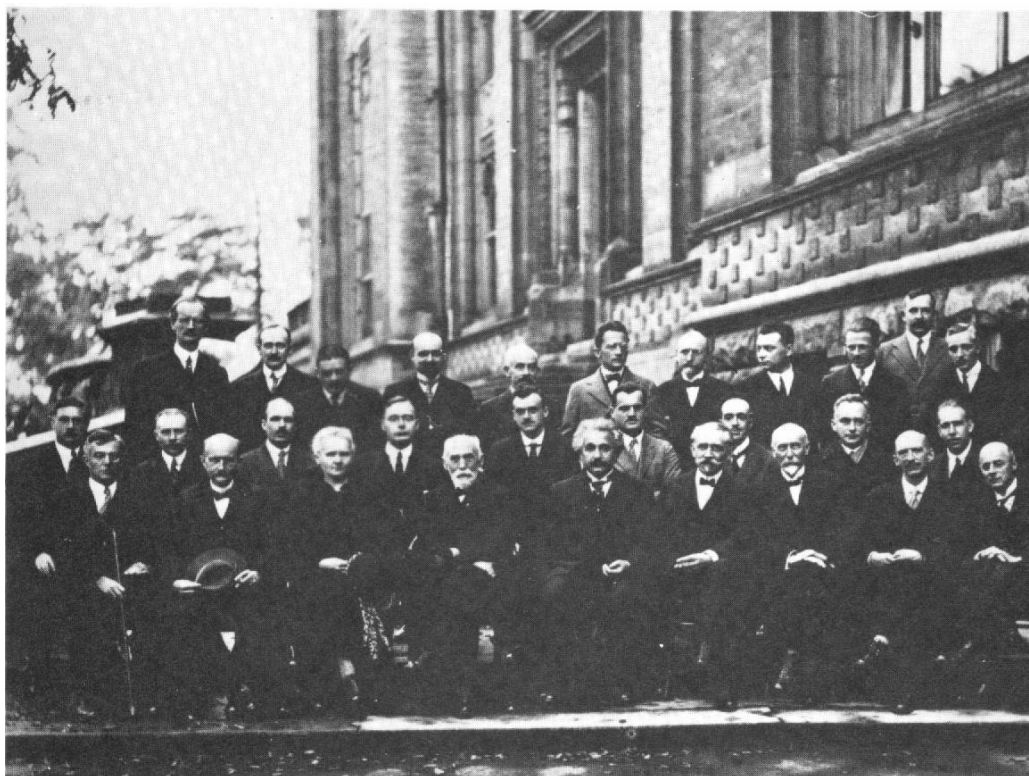


Figura 50. En la fotografía de la quinta conferencia - de 1927 -, Einstein y Marie Curie se han cambiado a la primera fila. (El está en el centro y ella es la tercera de la izquierda). Las filas de atrás se llenan con las nuevas generaciones, Luis de Broglie, Max Born y Niels Bohr son los tres de la derecha en la segunda fila, mientras que Schrodinger es el sexto de la izquierda, y Heisenberg el tercero de la derecha en la última fila.

Existen dos claras diferencias entre una obra de arte un documento científico. Una es que en la obra de arte el pintor toma visiblemente el mundo en fragmentos y los reúne en el mismo lienzo. Y la otra es que se le puede ver pensativo mientras la realiza. (Por ejemplo, Georges Seurat, cuando ponía un punto de color junto a otro de distinto color para lograr el efecto total de *Mujer joven con borla* y *Le Bec*). En ambos sentidos, el papel científico es, con frecuencia, deficiente. Suele ser únicamente analítico; y casi siempre oculta el proceso mental en su lenguaje impersonal.

He decidido hablar de uno de los padres fundadores de la física del siglo XX, Niels Bohr, puesto, qué en ambos sentidos era un artista consumado. No era un hombre de respuestas preparadas. Solía iniciar sus seminarios diciendo a sus alumnos. «Toda frase que yo emita habrá de ser considerada por vosotros no como una aseveración sino como una pregunta». Lo que él cuestionaba era la estructura del mundo. Y la gente con que la trabajaba, cuando joven o viejo (contaba ya más de setenta años), también descomponía el mundo, cavilaba sobre éste y lo reconstruían de nuevo.

Contaba más de veinte años cuando empezó a trabajar con J. J. Thomson y con Ernest Rutherford, que fuera su discípulo y que hacia 1910 era el físico experimental más destacado del mundo. (Al igual que Mendeleev, Thomson y Rutherford se habían inclinado por la ciencia gracias al interés de sus viudas progenitoras) Rutherford era a la sazón catedrático de la Universidad de Manchester. Y ya en 1911 había propuesto un nuevo modelo de átomo. Había declarado que la masa del átomo está en un núcleo pesado o corazón en el centro, circundado por los electrones que giran en órbitas, del mismo modo en que los planetas giran alrededor del Sol. Era un concepto brillante, y una curiosa ironía de la historia, pues en trescientos años la

atroz elucubración de Copérnico, Galileo y Newton se habían convertido en el modelo natural de todo científico. Como ocurre con en la ciencia, la teoría inverosímil de una época se había tornado en imagen cotidiana para sus sucesores.

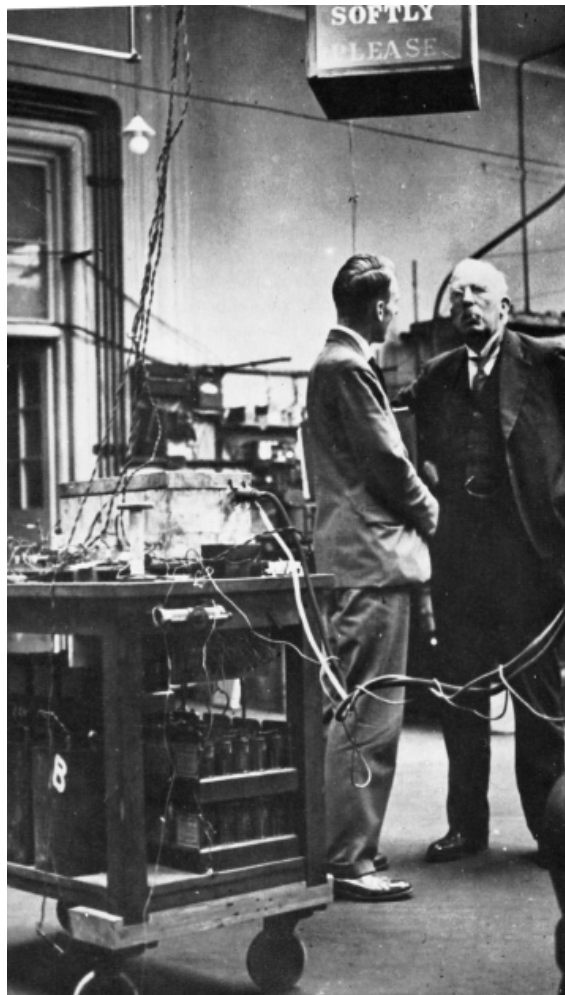


Figura 51 Hacia 1919, Rutherford era el físico experimental más destacado del mundo. Rutherford después de que sucedió a J. J. Thomson en el laboratorio de Cavendish en Cambridge.

No obstante, había algo equívoco en el modelo de Rutherford. Si el átomo es realmente una máquina minúscula, ¿cómo puede su estructura justificar el hecho de que no falle, pues se trata de una máquina diminuta en movimiento perpetuo y de la única máquina en movimiento perpetuo con que contamos? Los planetas pierden energía constantemente conforme se desplazan sobre sus órbitas, de modo que año por año sus órbitas empequeñecen, muy levemente, pero con el tiempo caerán dentro del Sol. Si a los electrones les sucede lo mismo que a los planetas, entonces caerán dentro del núcleo. Debe, por tanto, existir algo que impida que los electrones pierdan energía constantemente. Esto requería de un nuevo principio en física, limitando a valores fijos la energía que un electrón podía dar. Sólo para que haya una medida, una unidad definida que mantenga a los electrones en órbitas de tamaño fijo.

Niels Bohr descubrió la unidad que buscaba en el trabajo que Max Planck había publicado en Alemania en 1900. Lo que Planck había demostrado, doce años antes, es que en un mundo en que la materia se presenta en conjuntos, la energía también deberá presentarse en conjuntos o cuantos. Pensándolo ahora, la teoría no parece tan extraña. Pero Planck sabía cuán

revolucionaria era la idea el día en que la tuvo, pues en ese mismo día salió con su hijo pequeño a dar uno de esos paseos profesoriales que los académicos de todo el mundo toman después del almuerzo, y le dijo a éste, «He concebido hoy un pensamiento tan revolucionario y tan grande como el que alguna vez tuvo Newton». Y así era.

En cierto sentido, la tarea de Bohr era sencilla. Tenía el átomo de Rutherford en una mano y el cuanto en la otra. Luego, ¿qué podía maravillar de un joven de veintisiete años, que en 1913 unía ambos y creaba la imagen moderna del átomo? Nada, como no sea el maravilloso y visible proceso mental: nada, sino el esfuerzo de la síntesis. Y la idea de buscar apoyo en el único lugar en que podía ser encontrado: la huella dactilar del átomo, es decir: el espectro en que su comportamiento se hace visible para nosotros, contemplándolo desde el exterior.

Esta fue la maravillosa idea de Bohr. El interior del átomo es invisible, pero posee una ventana, una ventana de cristal de colores: el espectro del átomo. Cada elemento cuenta con su propio espectro, que no es continuo como el que Newton obtuvo de la luz blanca, sino que tiene cierto número de líneas brillantes que lo caracteriza. Por ejemplo, el hidrógeno posee tres líneas bastante brillantes en su espectro visible: una línea roja, otra azul verdosa, otra azul. Bohr las definía como una liberación de energía, cuando el único electrón del átomo de hidrógeno salta de una de las órbitas exteriores a una de las interiores.

Mientras el electrón de un átomo de hidrógeno permanezca en una órbita no emitirá energía. Pero una vez que salte de una órbita externa a una interna, la diferencia de energía entre las dos es emitida como un cuanto de luz. Estas emisiones simultáneas de muchos miles de millones de átomos dan origen a la línea característica del hidrógeno que hemos definido. La línea roja es cuando el electrón salta de la tercera órbita a la segunda; la azul verdosa cuando el electrón salta de la cuarta órbita a la segunda.

El escrito de Bohr *Acerca de la constitución de los átomos y de las moléculas* se convirtió inmediatamente en clásico. La estructura del átomo era tan matemática como el universo de Newton. Mas contenía el principio adicional del cuanto. Niels Bohr había construido un mundo dentro del átomo al ir más allá de las leyes físicas vigentes durante dos centurias después de Newton. Retornó triunfante a Copenhague. Dinamarca era otra vez su hogar, un nuevo sitio para trabajar. En 1920 se edificaría para él, en Copenhague, el Instituto Niels Bohr. Jóvenes estudiosos procedentes de Europa, América y el Lejano Oriente venían a discutir con él la física cuántica. Werner Heisenberg venía a menudo desde Alemania y fue incitado a concebir allí algunas de sus ideas cruciales: Bohr jamás permitía que nadie se detuviese a la mitad de una idea.

Es interesante recorrer los pasos de la configuración del modelo de átomo de Bohr, pues de algún modo recapitulan el ciclo vital de toda teoría científica. Primero viene el escrito. En éste, los resultados conocidos son empleados para apoyar el modelo. Esto significa que se ha demostrado que el espectro del hidrógeno en particular presenta líneas, conocidas de mucho tiempo atrás, cuyas posiciones corresponden a las transiciones cuánticas del electrón de una órbita a otra.

El siguiente paso consiste en hacer extensiva esta clase de confirmación a un nuevo fenómeno: en este caso, las líneas del espectro de alta energía de los rayos X, el que no es visible para el ojo, pero que está formado de la misma manera por los saltos del electrón. Este trabajo se llevó a cabo en el laboratorio de Rutherford en 1913, y produjo bellos resultados que confirmaban exactamente las predicciones de Bohr. El hombre que realizó estos trabajos fue Harry Moseley, de veintisiete años, quien no realizó una labor más brillante a causa de que pereció durante el desesperado ataque británico a Galípoli en 1915: campaña que, indirectamente, cobraría vidas de jóvenes promesas, entre ellas la del poeta Rupert Brooke. Al igual que el de Mendeleev, el trabajo de Moseley sugería la ausencia de algunos elementos, uno de los cuales sería descubierto en el laboratorio de Bohr y denominado *hafnium*, nombre latino de Copenhague. Bohr anunció el descubrimiento accidentalmente durante el discurso que pronunció al aceptar el Premio Nobel de Física en 1922. El tema del discurso es memorable, pues Bohr describió en

detalle lo que había condensado casi poéticamente en otro discurso: de cómo el concepto de cuanto había

llevado gradualmente a una clasificación sistemática de los tipos estacionarios de amarre de cualquier electrón a un átomo, ofreciendo una cabal explicación de las relaciones extraordinarias entre las propiedades físicas y químicas de los elementos, tal y como se expresan en la famosa tabla periódica de Mendeleev. Tal interpretación de las propiedades de la materia se presentó como una realización, que inclusive sobrepasaba los sueños de los pitagóricos, del ideal antiguo de reducir la formulación de las leyes de la naturaleza a consideraciones puramente numéricas.

Y precisamente en este momento, cuando todo parece deslizarse sobre ruedas, empezamos a percatarnos súbitamente de que la teoría de Bohr, como ocurre tarde o temprano con todas las teorías, está alcanzando los límites de su capacidad. Empiezan a surgir en ella pequeñas grietas que la debilitan, una especie de dolor reumático. Y entonces se manifiesta la realidad cruda de que ni remotamente hemos resuelto el problema medular de la estructura atómica. Hemos quebrado el cascarón. Mas dentro de éste se encuentra el átomo, que es un huevo con yema, el núcleo; y todavía no hemos empezado a entender el núcleo.

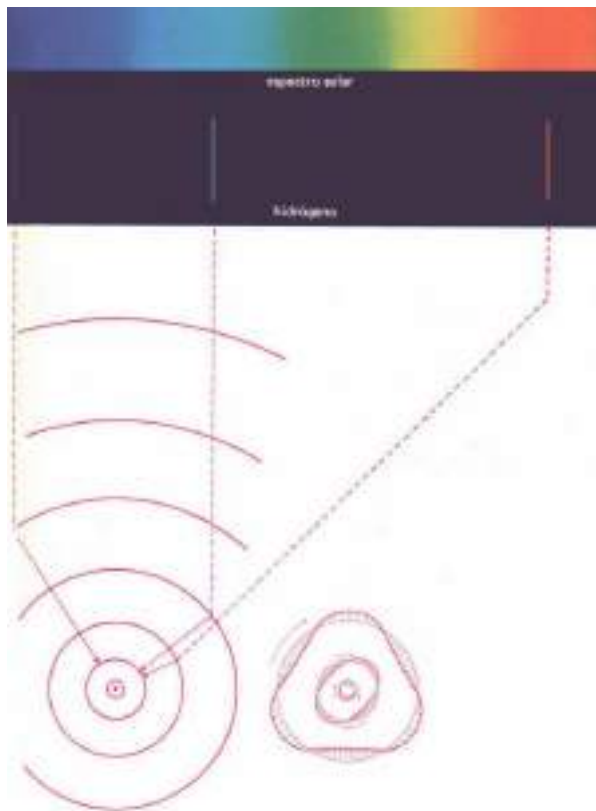


Figura 52. La parte interior del átomo es invisible pero posee una ventana, una ventana de cristal de colores: el espectro del átomo. El espectro del gas de hidrógeno, cuyas bandas interpretó Niels Bohr en 1913 como los saltos orbitales del electrón del átomo. Luis de Broglie interpretó estas órbitas como bandas de ondas resonantes, en donde las órbitas son lugares donde un número exacto, entero de ondas se aproxima alrededor

Niels Bohr era un hombre que gustaba de la contemplación y del esparcimiento. Con el dinero del Premio Nobel compró una casa de campo. Su afición por las artes incluía también la poesía. Había dicho a Heisenberg, «Cuando se trata de los átomos, el lenguaje sólo se puede emplear como en poesía. Al poeta le interesa no tanto la descripción de hechos cuanto la creación de imágenes». Este es un pensamiento inesperado tratándose de los átomos, el lenguaje no describe hechos sino que crea imágenes. Pero esto es así. Lo que yace debajo del

mundo visible es siempre imaginario, en sentido literal: un juego de imágenes. No existe otra forma de hablar acerca de lo invisible en la naturaleza, en el arte o en la ciencia.



Figura 53 H. G. J. Moseley cuando era estudiante en los laboratorios de química de Oxford en 1910.

Cuando atravesamos el umbral del átomo nos hallamos en un mundo más allá del alcance de nuestros sentidos. Este mundo posee una nueva arquitectura, una unión de cosas que nosotros desconocemos: tratamos únicamente de imaginarla mediante analogías, un nuevo acto de imaginación. Las imágenes arquitectónicas proceden del mundo concreto de nuestros sentidos, puesto que ese es el único mundo que las palabras pueden describir. Mas todas las formas de imaginar lo invisible son metáforas, semejanzas que extraemos del gran mundo del ojo, el oído y el tacto.

Una vez hemos descubierto que los átomos son los últimos ladrillos constructores de la materia, sólo podemos tratar de crear modelos de cómo estos ladrillos constructores se unen y actúan juntos. Los modelos intentan demostrar, por analogía, cómo está construida la materia, De modo que, para poner a prueba los modelos, tendremos que desmenuzar la materia, tal como tallamos la estructura del diamante basándonos en la del cristal.

El ascenso del hombre es una síntesis que cada vez se enriquece más, siendo cada paso un esfuerzo analítico: de análisis más profundo, un mundo dentro del mundo. Cuando se encontró que el átomo era divisible parecía que podía tener un centro indivisible, el núcleo. Y después resultaba, alrededor de 1930, que el modelo requería de un nuevo refinamiento. El núcleo en el centro del átomo no era tampoco el último fragmento de la realidad.

En el crepúsculo del sexto día de la Creación, al decir de los comentaristas hebreos del Antiguo Testamento, Dios proveyó al hombre con herramientas que le darían también el don de la creación. Si tales comentaristas viviesen todavía, escribirían. «Dios creó el neutrón». Aquí, en Oak Ridge, Tennessee, se encuentra el resplandor azul que es la huella de los neutrones: el dedo visible de Dios que toca a Adán en la pintura de Miguel Angel, no con aliento sino con poder.

Pero no debo empezar con algo tan remoto. Permítaseme empezar la historia alrededor de 1930. En ese entonces, el núcleo del átomo aún se contemplaba tan invulnerable como alguna vez se había considerado el propio átomo. El problema estribaba en que no había forma de reducirlo a fracciones eléctricas: los números, simplemente, no concordarían. El núcleo tiene

una carga positiva (para equilibrar los electrones del átomo) igual al número atómico. Pero la masa del núcleo no es un múltiplo constante de la carga: va desde una igualdad en la carga (en el hidrógeno) hasta mucho más del doble de la carga en los elementos pesados. Esto era inexplicable, en tanto se continuase en el convencimiento de que toda materia debía ser construida a partir de la electricidad.

Fue James Chadwick quien acabó con idea tan profundamente arraigada, probando en 1932 que el núcleo consiste de dos clases de partículas: no sólo del protón eléctrico positivo sino de una partícula no eléctrica, el neutrón. Las dos partículas poseen prácticamente la misma masa, a saber: igual (aproximadamente) al peso atómico del hidrógeno. Únicamente el núcleo, más simple, del hidrógeno carece de neutrones y consta de un solo protón.

El neutrón era, por tanto, un nuevo tipo de prueba, una suerte de fuego alquímico, ya que, careciendo de carga eléctrica, podía ser disparado dentro del núcleo de los átomos sin sufrir disturbios eléctricos y cambiarlos. El moderno alquimista, el hombre que mejor que nadie hizo uso de esta nueva herramienta, fue Enrico Fermi, en Roma.

Enrico Fermi era una extraña criatura. Yo no le conocí sino hasta mucho tiempo después, pues en 1934 Roma estaba en manos de Mussolini, Berlín en las de Hitler, y los hombres como yo no viajábamos a esas ciudades. Mas cuando le vi en Nueva York, años más tarde, me dio la impresión de ser el hombre más inteligente que jamás había visto; bueno, tal vez el más inteligente con una sola excepción. Era compacto, menudo, poderoso, penetrante, muy deportivo y siempre tan clara en su mente la dirección en que iba cual si pudiese observar el propio fondo de las cosas.

Fermi empezó disparando neutrones a cada elemento en turno, y la fábula de la transmutación se hizo realidad en sus manos. Los neutrones que utilizaba se pueden ver salir a torrentes de este reactor, al que se conoce con ligereza como reactor «piscina», dando a entender que los neutrones disminuyen su velocidad con el agua. Pero debo proporcionar su nombre apropiado: es un reactor de isótopos de alto flujo, construido en Oak Ridge, Tennessee.

Como se sabe, la transmutación fue un sueño secular. Pero para hombres como yo, de mente inclinada a la teoría, lo más estimulante de los años treinta es que con ellos se inicia el descubrimiento de la evolución de la naturaleza. Explicaré esta frase. He empezado por hablar acerca del día de la Creación, y lo haré de nuevo. ¿Por dónde empiezo? El arzobispo James Ussher de Armagh, mucho tiempo ha, hacia 1650, afirmaba que el universo había sido creado en 4004 a. de C. Armado como estaba de dogma e ignorancia, nada le fue refutado. El y otros clérigos solían proporcionar el año, la fecha, el día de la semana, la hora, todo lo cual, por fortuna, he olvidado. Mas el enigma de la edad de la Tierra permanecía como una paradoja hasta bien avanzado el siglo XX pues aunque estaba clara la existencia de la Tierra durante muchos millones de años, no se podía concebir la procedencia de la energía que había movido el Sol y las estrellas durante tan largo período. Ya para entonces se contaba con las ecuaciones de Einstein, por supuesto, las cuales demostraban que la pérdida de materia produciría energía. ¿Pero cómo se redistribuía la materia?

Muy bien: esta es realmente la clave de la energía y la puerta del entendimiento que el descubrimiento de Chadwick abrió. En 1939, Hans Bethe, que trabajaba en la Universidad de Cornell, explicó por primera vez en términos muy precisos la transformación del hidrógeno en helio en el Sol, de la cual emana la pérdida de masa que se nos prodiga en forma de energía. Hablo de estas cuestiones con un cierto grado de pasión, pues para mí tiene la calidad no del recuerdo, sino de la experiencia. La explicación de Hans Bethe está tan presente en mí como el propio día de mi boda y los pasos subsecuentes tanto como el nacimiento de mis hijos. Pues lo que se reveló en los años subsecuentes (y se selló finalmente en 1957, en el análisis que considero definitivo) es que en todos los astros se realizan procesos que van convirtiendo a los átomos, uno a uno, en estructuras cada vez más complejas. La propia materia *evoluciona*. Esta palabra proviene de Darwin y de la biología; pero es también la palabra que cambió a la física durante mi existencia.

El primer paso en la evolución de los elementos se lleva a cabo en las estrellas jóvenes, tales como el Sol. Es el paso del hidrógeno al helio y requiere de las altas temperaturas del interior; lo que podemos apreciar en la superficie solar son únicamente las tormentas producto de dicha acción. (El helio fue identificado inicialmente como una línea del espectro durante el eclipse solar de 1868; es por ello que se le denominó helio, pues entonces no era conocido en la Tierra) Lo que sucede en efecto es que, de tiempo en tiempo, una pareja de núcleos de hidrógeno pesado choca y se fusiona para formar el núcleo del helio.

Con el tiempo el Sol, en su mayor parte, se convertirá en helio. Y se convertirá en una estrella más caliente en la que los núcleos del helio choquen para formar átomos más pesados. El carbón, por ejemplo, se forma en una estrella cada vez que tres núcleos de helio chocan en un punto dentro de un tiempo menor a una millonésima de millonésima de segundo. Cada átomo de carbón en todo ser vivo ha sido formado por tan extraña e improbable colisión. Más allá del carbón se forma el oxígeno, el silicio, el azufre y otros elementos más pesados. Los elementos más estables se encuentran a mitad de la tabla de Mendeleev, aproximadamente entre el hierro y la plata. Mas el proceso de construcción de los elementos sobrepasa grandemente todo esto.

Si los elementos se construyen uno a uno, ¿por qué se detiene la naturaleza? ¿Por qué encontramos únicamente noventa y dos elementos, de los cuales el uranio ocupa el último lugar? La respuesta a esta pregunta es, evidentemente, la construcción de más elementos y la confirmación de que, a mayor tamaño, los elementos se vuelven más complejos y tienden a separarse en pedazos. Sin embargo, al realizar esto, no sólo estamos forjando elementos nuevos sino logrando algo que es explosivo en potencia. El elemento plutonio, obtenido por Fermi en el histórico primer reactor de grafito (lo llamábamos la «Pila» en aquellos días coloquiales) fue el elemento hecho por el hombre que demostraría lo anterior al mundo entero. Constituye, en parte, un monumento al genio de Fermi; pero creo que también es un tributo al dios Plutón del averno, quien diera su nombre al elemento, por las cuarenta mil víctimas de Nagasaki a causa de la bomba de plutonio. Constituye un monumento más en la historia del orbe y conmemora, al propio tiempo, a un gran hombre y a múltiples víctimas.

Pero debemos retornar brevemente a la mina de Wieliczka, porque existe una contradicción histórica que debo explicar aquí. Los elementos se forman constantemente en las estrellas; no obstante lo cual, solíamos creer que el universo estaba declinando. ¿Por qué? ¿Cómo?

La idea de que el universo decae se deriva de la simple observación de las máquinas. Toda máquina consume más energía de la que rinde. Parte de ella se pierde en la fricción, parte en el desgaste. Y en algunas máquinas más avanzadas que los arcaicos cabrestantes de madera de Wieliczka, se desperdicia en otras formas necesarias: por ejemplo, en un absorbedor de impactos o en un radiador. Todas estas constituyen formas en las que la energía es degradada. Existe una fuente de energía inaccesible en que se pierde siempre una parte de la energía que aplicamos y que no se puede recuperar.

En 1850, Rudolf Clausius convirtió ese pensamiento en un principio básico. Afirmó que existe una energía que es accesible, mientras que existe también un residuo de energía que no lo es. Llamó entropía a esta energía inaccesible y formuló la famosa Segunda Ley de la Termodinámica: la entropía aumenta constantemente. En el universo, el calor escapa a una especie de lago de igualdad en el cual ya no es accesible.

Esta fue una bonita exposición hace cien años, porque entonces el calor se concebía aún como un fluido. Pero el calor no es más material que el fuego... o que la vida. El calor es un movimiento aleatorio de los átomos. Y sería Ludwig Boltzmann en Austria quien brillantemente tomó la idea para ofrecer una nueva interpretación de lo que ocurre en una máquina, o en una máquina a vapor, o en el universo.

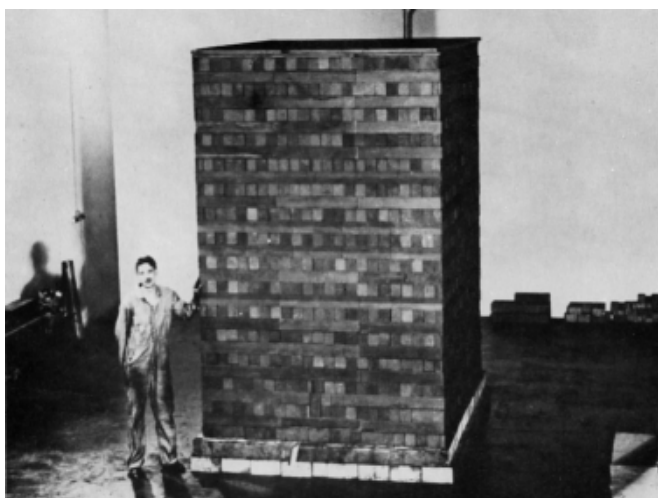


Figura 54 El primer histórico reactor de grafito. Pila exponencial de uranio y grafito diseñada bajo la dirección de Enrico Fermi y que empezó a operar por primera vez el 2 de diciembre de 1942 en West Stands, Stagg Field, Universidad de Chicago.



Figura 55 Constituye un monumento más en la historia del orbe y conmemora, al propio tiempo, a un gran hombre y a múltiples víctimas. Fermi (segundo de la derecha) al revelar la placa que conmemora la primera pila nuclear controlada, el 2 de diciembre de 1947.

Cuando la energía es degradada, dijo Boltzmann, se debe a que los átomos asumen un estado más desordenado. Y la entropía es un parámetro del desorden: esa es la concepción profunda que se desprende de la nueva interpretación de Boltzmann. Por extraño que parezca, se puede crear una medida para el desorden; es la probabilidad de un estado particular, definido aquí como el número de formas en que se puede armar a partir de sus átomos: Boltzmann lo expresó con precisión,

$$S=K \log W;$$

S , la entropía, está representada como proporcional al logaritmo de W , la probabilidad de un estado dado (siendo K la constante de proporcionalidad, conocida actualmente como constante de Boltzmann).

Naturalmente, los estados desordenados son mucho más probables que los ordenados, ya que prácticamente cualquier montaje de átomos formado aleatoriamente será desordenado; es así que cualquier arreglo ordenado decaerá. Mas esto no es siempre así. No es verdad que los estados ordenados tiendan *constantemente* al desorden. Es una ley estadística, lo que significa que el orden *tenderá* a desaparecer. Pero las estadísticas no indican que «siempre». Las estadísticas aportan el orden para construir algunas islas del universo (aquí en la Tierra, en usted, en mí, en las estrellas, en todo lugar) en tanto que el desorden impera en otras.

Esta es una bella concepción. Pero existe aún una pregunta que debemos plantearnos. De ser cierto que la probabilidad fue la que nos trajo aquí, ¿no es ésta tan remota que, en realidad, no tenemos derecho a estar aquí?

La gente que formula esta pregunta siempre la plantea en estos términos. Tomemos, por ejemplo, todos los átomos que forman mi cuerpo en este momento. Cuán absurdo e improbable es que se hayan conjuntado en este preciso lugar e instante para darme forma. Sí, por cierto, si así fue como ocurrió, esto no sólo sería improbable: sería virtualmente imposible.

Mas, por supuesto, ésta no es la forma en que la naturaleza trabaja. Los átomos forman moléculas, las moléculas forman, las bases, las bases dirigen la formación de aminoácidos, los aminoácidos forman las proteínas y éstas trabajan en las células. Las células conforman ante todo a los animales simples y después a los más complejos, ascendiendo paso a paso. Las unidades estables que componen un nivel o estrato son la materia prima para los encuentros aleatorios que producen configuraciones superiores, algunas de las cuales tienen la posibilidad de trocarse en estables. Mientras permanezca un potencial de estabilidad que no se haya convertido en real, no hay otra manera de que la oportunidad se realice. La evolución constituye el ascenso por una escala, partir de los pasos simples hasta los complejos, siendo cada cual estable en sí mismo.

Debido a que es un tema muy familiar para mí, le he dado un nombre: lo he denominado *estabilidad estratificada* y esto es lo que ha traído la vida a paso lento pero constante, ascendiendo una escala de complejidad creciente, lo que es el progreso y el problema central de la evolución. Y ahora sabemos que esto es verdad no sólo en el orden vital sino también en el material. Si las estrellas tuviesen que generar un elemento pesado como el hierro o un elemento archipesado como el uranio, mediante el montaje instantáneo de todos los componentes, resultaría virtualmente imposible. No. Una estrella convierte el hidrógeno en helio; en una nueva etapa y en una estrella diferente, el helio se transforma en carbón, en oxígeno, en elementos pesados; y así paso a paso a lo largo de toda la escala, hasta formar los noventa y dos elementos existentes en la naturaleza.

No podemos copiar el proceso de las estrellas como un todo, al no poder regular las altísimas temperaturas que se requieren para fusionar a la mayoría de los elementos. Mas hemos empezado a poner nuestro pie en la escala: al copiar el primer paso, del hidrógeno al helio. En otra parte de Oak Ridge se intenta la fusión del hidrógeno.

Resulta sumamente difícil imitar la temperatura que prevalece en el Sol: más de diez millones de grados centígrados. Y aún es más difícil el crear cualquier tipo de recipiente que pueda resistir tales temperaturas y asimilarlas durante una fracción de segundo. No existen materiales así; un receptáculo de gas en tan violento estado sólo puede tener forma de una trampa magnética. Es esta una nueva clase de física: la plasma-física o física de los plasmas. Es emocionante, ciertamente, y su importancia estriba en que es la física de la naturaleza. Por primera vez, los reajustes que el hombre realiza no marchan en dirección contraria a la naturaleza sino siguiendo los mismos pasos que ella ha marcado en el Sol y en las estrellas.

La inmortalidad y la mortalidad es el contraste con que finalizaré este ensayo. La física del siglo XX es una labor inmortal. Trabajando de manera comunal, la imaginación humana no ha producido monumentos que la iguallen: ni las pirámides ni la *Iliada* ni las baladas ni las

catedrales. Uno tras otro, los hombres que forjaron estas concepciones son los héroes pioneros de nuestra época. Mendeleev, barajando sus tarjetas; J. J. Thompson, confutando la creencia griega de que el átomo es indivisible; Rutherford, que lo configuró como un sistema planetario; y Niels Bohr, que hizo funcionar ese modelo. Chadwick, que descubrió el neutrón, y Fermi, que lo utilizó para abrir y transformar el núcleo. Y a la cabeza de todos ellos están los iconoclastas, los primeros descubridores de las nuevas concepciones:

Max Plank, que dio a la energía un carácter atómico igual a la materia; y Ludwing Boltzmann, al que, más que a ningún otro, debemos el hecho de que el átomo – un mundo dentro de un mundo – sea tan real para nosotros como nuestro propio mundo.

Quién hubiera creído que en 1900 la gente luchaba, podríamos decir que a muerte, al tratar el tema de la realidad o ficción de los átomos. En Viena, el gran filósofo Ernst Mach lo negaba. La misma negativa era expresada por el gran químico Wilhelm Ostwald. Y, sin embargo, un hombre, durante el crítico cambio de siglo, propugnó la autenticidad del átomo en términos teóricos fundamentales. Se trataba de Ludwing Boltzmann, a cuya memoria rindo homenaje.

Boltzmann era un hombre irascible, extraordinario, difícil; un temprano seguidor de Darwin; buscabullas y encantador; era todo lo que un ser humano debería ser. El ascenso del hombre oscilaba en ese entonces sobre una fina balanza intelectual, a causa de la existencia de doctrinas antiatómicas que realmente imperaban en esos días, nuestro avance habría sido detenido por décadas y quizás por un siglo. Y no solo se habría detenido el avance de la física sino también el de la biología, cuya dependencia en aquella es fundamental.

¿Se conformaba Boltzmann con discutir? No. Vivió y murió esa pasión. En 1906, a la edad de sesenta y dos años, sintiéndose aislado y derrotado, justamente en el momento en que la doctrina atómica estaba a punto de triunfar, él consideró que todo estaba perdido y se quitó la vida. Lo único que resta para conmemorarlo es su fórmula inmortal, grabada en su tumba,

$$S = K \log W.$$

No tengo palabras para describir la belleza compacta y penetrante de esta fórmula de Boltzmann. Mas tomaré una cita del poeta William Blake, quien inicia los *Augurios de inocencia* con cuatro líneas:

*El ver un mundo en un grano de arena
y un cielo en una flor silvestre,
sostener el infinito en la palma de la mano
y la eternidad en una hora.*

11 CONOCIMIENTO O CERTEZA

Uno de los propósitos de las ciencias físicas ha sido el de proporcionar una imagen exacta del mundo material. Uno de los logros de la física del siglo XX ha sido el de probar que tal meta es inasequible.

Tomemos un objeto concreto como el rostro humano. Estoy escuchando a una invidente conforme recorre con las puntas de los dedos la faz de un hombre al que percibe por vez primera, pensando en voz alta. «Yo diría que se trata de un hombre mayor. Creo que, evidentemente, no es inglés. Su cara es más redonda que la de la mayoría de los ingleses. Creo que tal vez proceda del continente europeo e incluso de la región oriental de dicho continente. Son de posible agonía las arrugas de su cara. Al principio creí que eran cicatrices. No es un rostro feliz.»

Este es el rostro de Stephan Borgrajewicz, que, como yo, nació en Polonia. En la figura 56 aparece visto por el artista polaco Feliks Topolski. Estamos conscientes de que esta clase de pintura no plasma el rostro, Sino lo explora; que el artista traza el detalle casi al tacto; y que cada línea que se añade intensifica la pintura aunque nunca le da el toque final. Solemos aceptar esto como el método del artista.



*Figura 56 Esta clase de pintura no plasma el rostro, sino lo explora.
Retrato de Stephan Borgrajewicz por Feliks Topolski, Londres 1972.*

Más lo que la física ha demostrado es que ese es el único método de conocimiento. No existe el conocimiento absoluto. Y aquellos que lo sostienen, trátense de científicos o dogmáticos, abren la puerta a la tragedia. Toda información es imperfecta. Tenemos que manejarla con humildad. Tal es la condición humana; y así lo expresa la física cuántica. Afirmo esto literalmente.



Figura 57 ¿Cómo es de fino y de exacto el detalle que podemos percibir por medio de los mejores instrumentos del mundo?.

Fotografía por radar del aeropuerto de Londres

Microfotografía de la superficie de la piel humana ampliada 50 veces.

Microfotografía de un corte de piel humana, mostrando las glándulas sebáceas, ampliada 200 veces.

El microscopio ultravioleta penetra la célula hasta el nivel de un cromosoma individual.

Átomos de Torio.

Miremos al rostro a través de todo el espectro de información electromagnética. Y formularé esta pregunta: ¿Cómo es de fino y de exacto el detalle que podemos percibir por medio de los mejores instrumentos del mundo, incluso con un instrumento perfecto, si podemos concebir uno?

Y el apreciar el detalle no necesita ser limitado a verlo con luz visible. En 1867, James Clerk Maxwell propuso que la luz era una onda electromagnética, y las ecuaciones que construyó para ésta implicaban la existencia de otras. El espectro de la luz visible, del rojo al violeta, es aproximadamente sólo una octava de la escala de las radiaciones invisibles. Existe todo un teclado de información, que va desde las más largas longitudes de onda de la radio (las notas graves) hasta las longitudes de onda más cortas de los rayos X en adelante (las notas agudas). Haremos resplandecer a todas ellas, una a una, sobre el rostro humano.

La más larga de las ondas invisibles es la onda de radio, cuya existencia sería probada, hace casi una centuria, por Heinrich Hertz, en 1888, confirmando así la teoría de Maxwell. Al ser la más larga de todas, es también la más burda. Un radar de exploración, trabajando a una longitud de onda de unos cuantos metros, no registrará rostro ninguno a menos que cuente con algunos metros transversales, como una cabeza olmeca de piedra. Sólo cuando acortemos la longitud de onda aparecerán algunos detalles de la enorme cabeza: en menos de un metro, las orejas. Y en el límite práctico de las ondas de radio, a unos cuantos centímetros, detectamos los primeros rasgos del hombre junto a la estatua.

Después miramos a la cara, la cara del hombre, con una cámara sensible al siguiente campo de radiación, a longitudes de onda de menos de un milímetro: los rayos infrarrojos. Estos fueron descubiertos en 1800 por el astrónomo William Herschel, al percatarse del calor de su telescopio al apuntarlo más allá de la luz roja; pues los rayos infrarrojos son rayos caloríferos. La placa de la cámara los transforma en luz visible, en un código bastante arbitrario, haciendo que los más calientes se vean azules, y rojos u oscuros los más fríos. Podemos apreciar los rasgos más notorios de la cara: los ojos, la boca, la nariz: vemos el vapor que sale de las fosas nasales. Aprendemos algo nuevo con respecto al rostro humano, sí. Mas lo que aprendemos carece de detalle.

A las longitudes de onda más cortas, centésimos de milímetro o menos, el rayo infrarrojo se matiza suavemente hasta alcanzar el rojo visible. La película que empleamos entonces es sensitiva a ambos, y el rojo salta a la vista. Ya no se trata de *un* hombre sino del hombre que conocemos: Stephan Borgrajewicz.

La luz blanca lo revela al ojo de manera ostensible, en detalle; el vello, los poros de la piel, un lunar aquí, un vaso sanguíneo roto allá. La luz blanca es una mezcla de longitudes de onda, del rojo al naranja, al amarillo, al verde, al azul y finalmente al violado, las ondas visibles más cortas. Deberíamos ver detalles más precisos con la onda corta violeta que con la larga onda roja. Pero en la práctica, una diferencia aproximada de una octava no tiene gran significación.

El pintor analiza el rostro, analiza las facciones, separa los colores, agranda la imagen. Resulta natural preguntar, ¿no debería un científico emplear un microscopio para aislar y analizar los rasgos más finos? Pues sí, debería. Mas tenemos que entender que el microscopio magnifica la imagen pero no puede mejorarla: la nitidez del detalle está sujeta a la longitud de onda de la luz. El hecho es que con cualquier longitud de onda podemos interceptar un rayo, mas sólo mediante objetos tan grandes como la propia longitud de onda; un objeto más pequeño simplemente no proyectaría sombra.

Un aumento de más de doscientas veces puede hacer destacar una sola célula de la piel utilizando luz blanca ordinaria. Pero para observar más detalles, necesitamos una longitud de onda aún más corta. Luego entonces, el siguiente paso es la luz ultravioleta, que posee una longitud de onda de una diezmilésima de milímetro e incluso menos: más corta por un factor de diez y mayor que la de la luz visible. Si nuestros ojos pudiesen ver dentro de los rayos ultravioleta, verían un panorama fantasmal de fluorescencia. El microscopio ultravioleta mira a

través de resplandor dentro de la célula, magnificada tres mil quinientas veces, hasta el nivel del cromosoma individual. Mas tal es el límite: ninguna luz verá los genes humanos dentro de un cromosoma.

Nuevamente, para ir más al fondo, tendremos que acortar la longitud de onda: a continuación, los rayos X. Sin embargo, éstos son tan penetrantes que ningún material los puede enfocar; no podemos construir un microscopio de rayos X. Es así que debemos conformarnos con dispararlos a la cara y obtener una suerte de sombra. El detalle dependerá ahora de su penetración. Podemos ver el cráneo bajo la piel: por ejemplo, que el hombre ha perdido su dentadura. Este sondeo del cuerpo hizo a los rayos X excitantes desde que Wilhelm Konrad Röntgen los descubrió en 1895, pues se trataba de un hallazgo en física que parecía diseñado por la naturaleza para servir a la medicina. Hizo a Röntgen una especie de benévola figura paterna; él fue el héroe que consiguió el primer Premio Nobel en 1901.

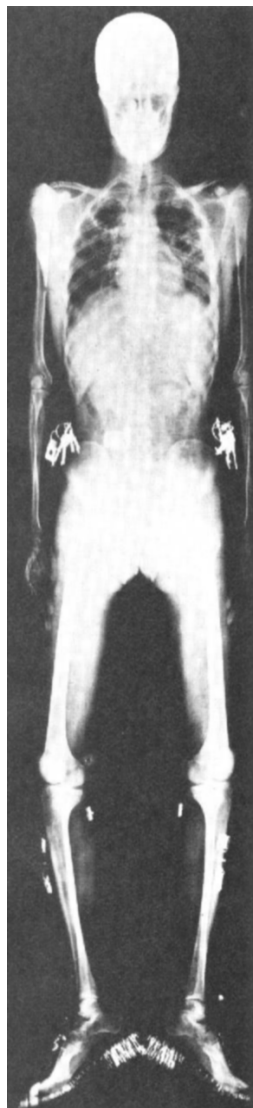


Figura 58 El sondeo del cuerpo hizo a los rayos X excitantes desde que Wilhem Honrad Röntgen los descubrió.

Placa original de Röntgen de un hombre con zapatos y con llaves en los bolsillos de su pantalón.

En ocasiones, una oportunidad fortuita de la naturaleza nos da acceso a mayores realizaciones a través de una acción por los flancos, es decir: infiriendo una disposición que no se puede observar directamente. Los rayos X no nos pueden mostrar un átomo individual, por ser demasiado pequeño como para proyectar su sombra aun bajo esta breve longitud de onda. Sin embargo, podemos delinear los átomos de un cristal porque su espaciamiento es regular, de modo que los rayos X formarán un diseño regular ondulado, a partir del cual podemos inferir las posiciones de los átomos obstructores. Tal es la disposición de los átomos en la espiral del DNA: tal es el aspecto de un gen. El método fue inventado en 1912 por Max von Laue, y fue un golpe doble de inventiva, ya que aportó la primera prueba de la realidad del átomo, así como la primera prueba de que los rayos X son ondas electromagnéticas.

Nos falta todavía dar un paso, al microscopio electrónico, en el cual los rayos se hallan tan concentrados que ya no sabemos si llamarles ondas o partículas. Los electrones se disparan a un objeto y delinear el contorno como lo hace el lanzador de puñales en una feria. El objeto más pequeño que se ha logrado observar ha sido un átomo individual de torio. Es todo un espectáculo. Y empero esta tenue imagen confirma que, al igual que los puñales que circundan a la joven *en* la feria, los electrones – aun los más rígidos – no proporcionan un contorno sólido.

La imagen perfecta se encuentra todavía tan remota como las estrellas distantes. Nos hallamos ahora frente a frente con la paradoja crucial del conocimiento. Año tras año inventamos instrumentos más precisos para poder observar la naturaleza con más detalle. Y cuando analizamos las observaciones notamos con desagrado que aún son difusas; y nos queda la sensación de que son tan imprecisas como de costumbre. Parece que corremos hacia una meta que se aleja infinitamente de nosotros cada vez que la tenemos a la vista.

La paradoja del conocimiento no está confinada a la pequeña escala atómica; por el contrario, es igualmente convincente a escala humana y aun estelar. Permítaseme situarla en el contexto de un observatorio astronómico. El observatorio de Karl Friedrich Gauss en Göttinga fue construido hacia 1807. Durante toda su existencia y justamente a partir de esa época (en menos de dos siglos), los instrumentos astronómicos han sido mejorados. Contemplamos la posición de un astro como se determinaba entonces y ahora y nos da la impresión de que nos aproximamos cada vez más a su ubicación precisa. Pero cuando comparamos hoy nuestras observaciones individuales nos percatamos con asombro de que se encuentran diseminadas entre sí como en el pasado. Siempre hemos anhelado la desaparición del error humano, para llegar a alcanzar la visión de Dios. Pero resulta que no hemos logrado suprimir el error en nuestras observaciones. Y esto se aplica a las estrellas, o a los átomos, o simplemente al mirar el retrato de alguien, o al escuchar la información contenida en un discurso.

Gauss reconoció lo anterior merced al maravilloso genio añorado que le caracterizaba y que conservaría hasta su muerte, ocurrida cuando contaba cerca de los ochenta años. A los dieciocho años de edad, cuando se presentó en Göttinga para incorporarse a la universidad en 1795, ya había resuelto el problema del mejor estimado de una serie de observaciones que contenían errores internos. Razonaba en la misma forma estadística de hoy en día.

Cuando un observador contempla una estrella, sabe que existe una multitud de causas de error. Así, pues, realiza varias lecturas, con la esperanza de que el mejor estimado de la posición de una estrella sea el promedio: el centro de dispersión. Hasta ahora todo es obvio. Pero Gauss fue más allá al preguntar qué es lo que nos indica la *dispersión* del error. Inventó la curva gaussiana, en la cual la dispersión se resume por la desviación o la extensión de la curva. Y de esto surgiría una teoría de grandes alcances: la dispersión marca un área de incertidumbre. No estamos seguros de que la posición verdadera sea el centro. Todo lo que podemos decir es que se halla *en el área de incertidumbre*, la cual se puede calcular a partir de la dispersión detectada en las observaciones individuales.

Poseyendo esta sutil visión del conocimiento, Gauss fue particularmente severo con los filósofos que clamaban haber encontrado la vía de un conocimiento aún más perfecto que el de la observación. De entre muchos ejemplos voy a elegir uno. Sucede que hubo un filósofo

llamado Friedrich Hegel, por el cual, lo confieso, siento especial antipatía. Y me agrada compartir tan profundo sentimiento con un hombre de mucho mayor grandeza, Gauss. En 1800 Hegel presentó, por decirlo así, una tesis en que probaba que, a pesar de que la definición de los planetas había cambiado desde la antigüedad, podía aún haber, a escala filosófica, siete planetas. Ahora bien, no únicamente Gauss tenía respuesta para ello: Shakespeare había respondido mucho antes. Existe un pasaje prodigioso en *El rey Lear*, en el cual el bufón dice al rey: «La razón por la que existen siete estrellas y no más de siete, es una bonita razón». Y el rey, sabía e irónicamente, responde: «Porque no son ocho». Y el bufón dice: «Sí, por cierto, y vos haríais un buen bufón». Y eso hacía Hegel. El 1º de enero de 1801, puntualmente, antes de que se secase la tinta del manuscrito de Hegel, se descubría un octavo planeta: Ceres, un planeta menor.

La historia está salpicada de ironías. La «bomba de relojería» que contenía la curva de Gauss es que, posteriormente a su muerte, descubrimos que no disponemos del punto de vista de Dios. Los errores están inextricablemente ligados a la naturaleza del conocimiento humano. Y la ironía consiste en que el descubrimiento se haya realizado en Gotinga. Las villas universitarias antiguas son bellamente parecidas. Gotinga es como Cambridge en Inglaterra o Yale en los Estados Unidos: muy provincial, aunque no un lugar de paso: nadie visita el sitio como no sea por la compañía de profesores. Y éstos están ciertos de que este es el centro del mundo. Hay aquí en la taberna una inscripción que reza, «*Extra Cottingam non est vita*», «Fuera de Gotinga no hay vida». Este epigrama, o debería llamarlo epitafio, no lo toman tan en serio los estudiantes como los profesores.

El símbolo de la universidad es la estatua de hierro, situada frente a la taberna, de una ansarera descalza que todos los estudiantes besan durante la ceremonia de graduación. La universidad es una Meca a la que arriban los estudiantes con punto menos que una fe perfecta. Es importante que los estudiantes traigan cierto toque superficial de golfos, cierta irreverencia, a sus estudios; no están aquí para rendir culto al conocimiento sino para ponerlo en tela de juicio.

Como en toda ciudad universitaria, el paisaje de Gotinga es recorrido por los profesores en largas caminatas después del almuerzo, y los estudiantes que son invitados a acompañarles lo consideran un verdadero honor. Tal vez en otros tiempos haya sido Gotinga un lugar bastante monótono. Las pequeñas ciudades universitarias alemanas se remontan a una época anterior a la unificación del país (Gotinga fue fundada por Jorge II como regente de Hanover), lo cual les confiere un tono de burocracia local. Aun después de la era militar y de la abdicación del Káiser en 1918, eran más conformistas que las universidades de otros países.

El vínculo entre Gotinga y el mundo exterior era el ferrocarril. Por este conducto llegaban los visitantes procedentes de Berlín y del extranjero, en su deseo de intercambiar los nuevos conceptos que revolucionaban la física. Era proverbial en Gotinga decir que la ciencia nació en el tren a Berlín, por que en él la gente discutía, contradecía y tenía nuevas ideas; y también en él se ponían a prueba.

Durante la primera Guerra Mundial, en Gotinga al igual que en todas partes, la ciencia estuvo dominada por la Relatividad. Pero en 1921 Max Born fue nombrado para dictar la cátedra de física, quien iniciaría una serie de seminarios que atraerían la presencia de todos los interesados en la física atómica. Resulta bastante sorprendente que Max Born fuese contratado cuando contaba ya casi cuarenta años de edad. Por regla general, los físicos han realizado lo mejor de su trabajo antes de cumplir los treinta años (los matemáticos aún antes y los biólogos quizás un poco después). Pero Born poseía un extraordinario y personal don socrático. Atraía a los jóvenes y obtenía lo mejor de ellos; y las ideas que intercambiaba en las constantes polémicas habían de producir también lo mejor de su obra. Entre toda aquella pléyade de nombres, ¿a quién debo elegir? Obviamente a Werner Heisenberg, quien realizó aquí con Born lo mejor de su trabajo. Después, al publicar Erwin Schrödinger un nuevo concepto de física atómica básica, sería justamente aquí donde se efectuarían los debates, congregándose gente de todo el mundo.

Resulta un tanto curioso hablar en estos términos acerca de un tema que, después de todo, ha

sido siempre un tanto tenebroso. ¿Consistía realmente la física de los años veinte en polémicas, seminarios, discusiones, disputas? Pues sí, así era y así sigue siendo. Las personas que se reunían aquí, las que se reúnen en laboratorios, sólo concluyen su trabajo con una formulación matemática. Inician ésta tratando de resolver acertijos conceptuales. Los enigmas de las partículas subatómicas – de los electrones y del resto – son acertijos mentales.

Recordemos el rompecabezas que era el electrón entonces. La ocurrencia de los profesores (a causa de la distribución del horario universitario) era de que los lunes, miércoles y viernes, el electrón se habría de comportar como una partícula; los martes, jueves y sábados, como una onda. ¿Cómo se podrían equiparar esos dos aspectos traídos del mundo en gran escala e impulsados dentro de una sola entidad, dentro de este mundo liliputiense de *Los viajes de Gulliver* que es el átomo? En tal cosa consistían la especulación y las argumentaciones. Y ello no requiere del cálculo sino de la perspicacia, de la imaginación y – si se quiere – de la metafísica. Recuerdo una frase usada por Max Born cuando llegó a Inglaterra muchos años después, y que aparece también en su autobiografía. Dijo: «Estoy convencido de que la física teórica es realmente filosofía».



Figura 59 Max Born.

Born con su hijo en Gotinga en 1924, después de que le fue asignada la cátedra de Física Teórica en la Universidad de Gotinga. Fue suspendido de su puesto el 26 de abril de 1933.

Max Born quería decir con ello que las nuevas ideas en física venían a ser una visión diferente de la realidad. El mundo no es un conjunto de objetos estable y permanente y no puede desligarse completamente de nuestra percepción de él. Cambia ante nuestros ojos, interactúa con nosotros, el conocimiento que proporciona debe ser interpretado por nosotros. No hay modo de intercambiar información que no requiera un acto de juicio. ¿Es el electrón una partícula? Se comporta como tal en el átomo de Bohr. Pero (figura 52) de Broglie realizó en 1924 un hermoso modelo de onda, en el cual las órbitas eran los lugares donde un número exacto de ondas giran alrededor del núcleo. Max Born concibió un tren de electrones, como si cada uno cabalgase en un cigüeñal, de manera que colectivamente constituían una serie de curvas gaussianas, una onda de probabilidad. Se estaba creando un nuevo concepto en el tren a Berlín y en las caminatas de los profesores a través de los bosques de Gotinga: que cualesquiera que sean las unidades fundamentales a partir de las cuales el mundo está constituido, éstas son más delicadas, más huidizas, más sorprendidas de lo que podemos atrapar en la frágil red de nuestros sentidos.

Todos aquellos paseos por los bosques, así como las conversaciones, alcanzarían un brillante clímax en 1927. A principios de ese año, Werner Heisenberg daría un nuevo enfoque al electrón. Sí, es una partícula, dijo, pero una partícula que proporciona únicamente información limitada. Es decir, se puede especificar dónde se halla en este instante, pero no se le puede imponer una velocidad específica ni una dirección determinada. O, por el contrario, si se insiste en disparar a cierta velocidad y en determinada dirección, no se podrá especificar con exactitud cuál es su punto de partida ni, naturalmente, el de su llegada.

Esto parece ser una caracterización imperfecta. No lo es. Heisenberg le confirió profundidad al hacerla precisa. La información que porta el electrón está limitada a su totalidad. O sea que, por ejemplo, su velocidad y su posición se *acoplan* de tal forma que están circunscritas por la tolerancia del cuanto. Es este el concepto profundo: una de las grandes teorías científicas, no sólo del siglo XX sino de toda la historia de la ciencia.

Heisenberg lo denominó Principio de incertidumbre. En cierto sentido, constituye un robusto principio cotidiano. Sabemos que no le podemos pedir al mundo que sea exacto. Si un objeto (un rostro familiar, por ejemplo) tiene que ser *exactamente* igual antes de que lo reconozcamos, nunca lo podríamos hacer de un día para otro. Reconocemos que se trata del mismo objeto por ser muy parecido; nunca es exactamente igual a como era; es aceptablemente similar. En la acción de reconocimiento se lleva a cabo un juicio, una zona de tolerancia o incertidumbre. Así, pues, el principio de Heisenberg establece que ningún evento, ni siquiera los eventos atómicos, pueden ser descritos con certeza, es decir: sin el menor margen de tolerancia al error. Lo que confiere profundidad al principio es que Heisenberg especifica la tolerancia que se puede alcanzar. El punto de medida es el cuanto de Max Planck. En el mundo del átomo, la zona de incertidumbre se encuentra siempre delimitada por el cuanto.

No obstante, el nombre de Principio de incertidumbre no es adecuado. En la ciencia, o fuera de ella, no estamos en la incertidumbre; nuestro conocimiento está constreñido meramente por una determinada tolerancia. Deberíamos llamarlo Principio de tolerancia. Y propongo esta denominación por dos razones. La primera, desde el punto de vista de la ingeniería. La ciencia ha progresado paso a paso, la empresa más satisfactoria en el ascenso del hombre, debido a que ha hecho comprender que el intercambio de información entre el hombre y la naturaleza, y entre los propios hombres, sólo puede efectuarse bajo una determinada tolerancia. Y la segunda es el empleo apasionado que hago de la denominación en lo concerniente al mundo real. Todo conocimiento, toda información entre los seres humanos sólo podrá intercambiarse dentro de un marco de tolerancia. Y esto comprende el intercambio ya sea en la ciencia, ya en literatura, en religión o en política, y hasta en cualquier teoría que aspire al dogma. Resulta una grave tragedia para la época en que vivimos el que mientras aquí en Gotinga los hombres de ciencia refinaban con la precisión más exquisita el Principio de tolerancia, daban la espalda al mismo tiempo al hecho de que, en derredor de ellos, la tolerancia era estrellada contra el suelo sin reparación posible.

El cielo se ennegrecía por toda Europa. Pero habría una nube en particular que se posaría sobre Gotinga durante una centuria. A principios del siglo XIX, Johann Friedrich Blumenbach había reunido una colección de cráneos, obtenidos a través de distinguidos caballeros europeos con los que se correspondía. Nada sugería que el trabajo de Blumenbach con sus cráneos habría de apoyar una división racista de la humanidad, aunque utilizó las medidas anatómicas para clasificar a las familias del hombre. Sea como fuere, a raíz de la muerte de Blumenbach en 1840, la colección fue incrementada considerablemente hasta convertirse en el corazón de la teoría racista del pangermanismo, adoptada oficialmente por el Partido Nacional Socialista a su arribo al poder.

Con la llegada de Hitler en 1933, el tradicional sistema alemán de becas fue abolido casi de la noche a la mañana. El tren a Berlín era ahora un símbolo de evasión. Europa ya no era un buen huésped de la imaginación y no sólo de la imaginación científica. Toda una concepción de la cultura estaba en retirada: el concepto de que el conocimiento humano es personal y responsable, una aventura interminable al filo de la incertidumbre. Se hizo el silencio, tal y como ocurrió a raíz del juicio de Galileo. Los grandes cerebros se adentraron en un mundo amenazado. Max Born. Erwin Schrödinger. Albert Einstein. Sigmund Freud. Thomas Mann. Bertolt Brecht. Arturo Toscanini. Bruno Walter. Marc Chagall. Enrico Fermi. Y Leo Szilard, quien muchos años después se incorporaría al Instituto Salk de California.



*Figura 60 A principios del siglo XIX, Blumenbach había reunido una colección de cráneos, obtenidos a través de distinguidos caballeros con los que se correspondía.
Colección de cráneos de J. F. Blumenbach, Departamento de Anatomía, Universidad de Gotinga.*

El Principio de incertidumbre o, como yo lo he denominado, el Principio de tolerancia, estableció de una vez por todas la convicción de que todo conocimiento es limitado. Es una ironía de la historia el que cada vez que se ha asimilado este principio haya aparecido, bajo la Alemania hitleriana y bajo otros tiranos en muchos otros países, un contraconcepto: un concepto de certidumbre monstruosa. Cuando el futuro vuelva la mirada a los años treinta, los concebirá como una confrontación crucial de la cultura, tal como yo lo he expuesto, el ascenso del hombre, como enemigo de la creencia atávica de los déspotas de que poseen una certidumbre absoluta.

Debo expresar todas estas abstracciones en términos concretos, y deseo hacerlo así en un personaje. Leo Szilard estaba muy empapado del tema, y yo dediqué muchas tardes durante su último año de vida a conversar con él sobre estos temas en el Instituto Salk.

Nacido en Hungría, Leo Szilard realizó sus estudios universitarios en Alemania. En 1929 publicó un importante documento pionero sobre lo que hoy por hoy se conoce como Teoría de la información, la relación entre el conocimiento, la naturaleza y el hombre. Ya para entonces Szilard estaba convencido de que Hitler alcanzaría el poder y de que la guerra sería inevitable. Preparó en su habitación dos valijas con sus pertenencias y, hacia 1933, las cerró y llevó consigo a Inglaterra.



*Figura 61 Europa ya no era un buen huésped de la imaginación.
Leo Szilard (izquierda), Enrico Fermi (derecha).*

Y sucedió que en septiembre de 1933, Lord Rutherford, durante una sesión de la British Association, hizo un comentario acerca de que la energía atómica jamás sería una realidad. Leo Szilard era el tipo de científico, tal vez sólo el tipo de bienhumorado hombre jovial, a quien molestaba cualquier declaración que incluyese la palabra «jamás», particularmente cuando era expresada por algún colega distinguido. Fue así que se puso a cavilar sobre el problema. El mismo relató la historia como lo haríamos cualquiera de los que le conocimos. Vivía en el hotel Strand Palace (le encantaba vivir en hoteles). Dirigiéndose a su trabajo en el hospital Bart, y al llegar a Southampton Row fue detenido por la luz roja del semáforo. (Esta es la única parte de la historia que encuentro improbable; nunca vi a Szilard detenerse ante una luz roja.) No obstante, antes de que la luz cambiase a verde, se había percatado de que si se bombardea un átomo con un neutrón, y si ocurre que éste se fracciona liberando a dos, se obtiene entonces una reacción en cadena. Escribió una especificación para una patente que contiene las palabras «reacción en cadena», la cual fue registrada en 1934. Y llegamos ahora a un aspecto de la personalidad de Szilard que era característico de los científicos de la época, pero que en él se manifestaba de un modo más claro y audible. Deseaba conservar la patente en secreto. Deseaba preservar a la ciencia de una utilización equívoca. Y, de hecho, cedió la patente al Almirantazgo Británico, con el fin de que no se hiciera pública sino después de la guerra.

Entretanto, la guerra se aproximaba cada vez más. La marcha del progreso en física nuclear y la marcha de Hitler avanzaban consistentemente, paso a paso, de un modo que ya hemos olvidado en la actualidad. A principios de 1939, Szilard escribió a Joliot Curie interrogándole sobre la posibilidad de prohibir las publicaciones. Trató de evitar que Fermi publicase. Y por fin, en agosto de 1939, redactó una carta que Einstein firmó y envió al presidente Roosevelt, en la cual decía (en concreto), «La energía nuclear está aquí. La guerra es inevitable. Compete al presidente decidir lo que los científicos deben hacer al respecto».

Mas Szilard no se detuvo. Una vez ganada la guerra europea en 1945 y apercebido de que la bomba atómica estaba a punto de ser empleada contra los japoneses, Szilard organizó protestas donde quiera que pudo. Escribió memorándum tras memorándum. Envío uno de éstos al presidente Roosevelt, el cual no cumplió su cometido a causa de que Roosevelt falleció precisamente en los días en que le era remitido. El deseo de Szilard fue siempre el de que la bomba fuese experimentada, abiertamente ante los japoneses y ante la opinión pública internacional, de manera que los japoneses se pudieran percatar de su poder y rendirse antes de que fuera demasiado tarde.

Como sabemos, Szilard fracasó, y con él toda la comunidad científica. Hizo lo que un hombre íntegro podía hacer. Abandonó la física para dedicarse a la biología – fue por ello que se incorporó al Instituto Salk – y persuadió a otros de que siguieran su ejemplo. La física había sido la pasión de los últimos cincuenta años y su obra maestra. Y entonces se supo que había llegado el momento de aportar a la comprensión de la vida, particularmente la humana, la misma unidad de criterio que se había aplicado a la comprensión del mundo físico.

La primera bomba atómica fue lanzada sobre Hiroshima, Japón, el 6 de agosto de 1945, a las 8,15 de la mañana. Poco tiempo después de mi regreso de Hiroshima, escuché a alguien decir, en presencia de Szilard, que era una tragedia para los científicos el que sus descubrimientos fuesen utilizados para la destrucción. Szilard replicó, como nadie más que él derecho a hacerlo, que no se trataba de la tragedia de los científicos: «es la tragedia de la humanidad».

Hay dos partes que intervienen en el dilema humano. Una es la creencia de que el fin justifica los medios. Esta filosofía arrolladora, deliberadamente sorda al sufrimiento, se ha convertido en el monstruo de la maquinaria bélica. La otra es la traición al espíritu humano: la afirmación del dogma que cierra la mente y convierte a una nación, a una civilización, en una legión de fantasmas: fantasmas obedientes o fantasmas torturados.

Se ha dicho que la ciencia deshumanizará a la gente y la convertirá en números. Esto es falso, trágicamente falso. Compruébelo usted mismo. Este es el campo de concentración y el crematorio de Auschwitz. Fue aquí donde la gente se convirtió en números. En este estanque fueron esparcidas las cenizas de cuatro millones de personas. Y esto no fue obra del gas. Fue obra de la arrogancia. Fue obra del dogma. Fue obra de la ignorancia. Cuando la gente se cree poseedora del conocimiento absoluto, sin pruebas de la realidad, tal es su comportamiento. Todo ello ocurre cuando los hombres aspiran al conocimiento de los dioses.

La ciencia constituye una forma de conocimiento eminentemente humana. Nos hallamos siempre al borde de lo conocido, tratamos de adelantarnos siempre a la esperada. Todo juicio científico se sitúa al margen del error y es personal. La ciencia es un tributo a lo que podemos saber, pese a que somos falibles. Las palabras de Oliver Cromwell encierran una gran verdad determinante: «Yo te suplico, por las entrañas de Cristo, que pienses en la posibilidad de estar equivocado».

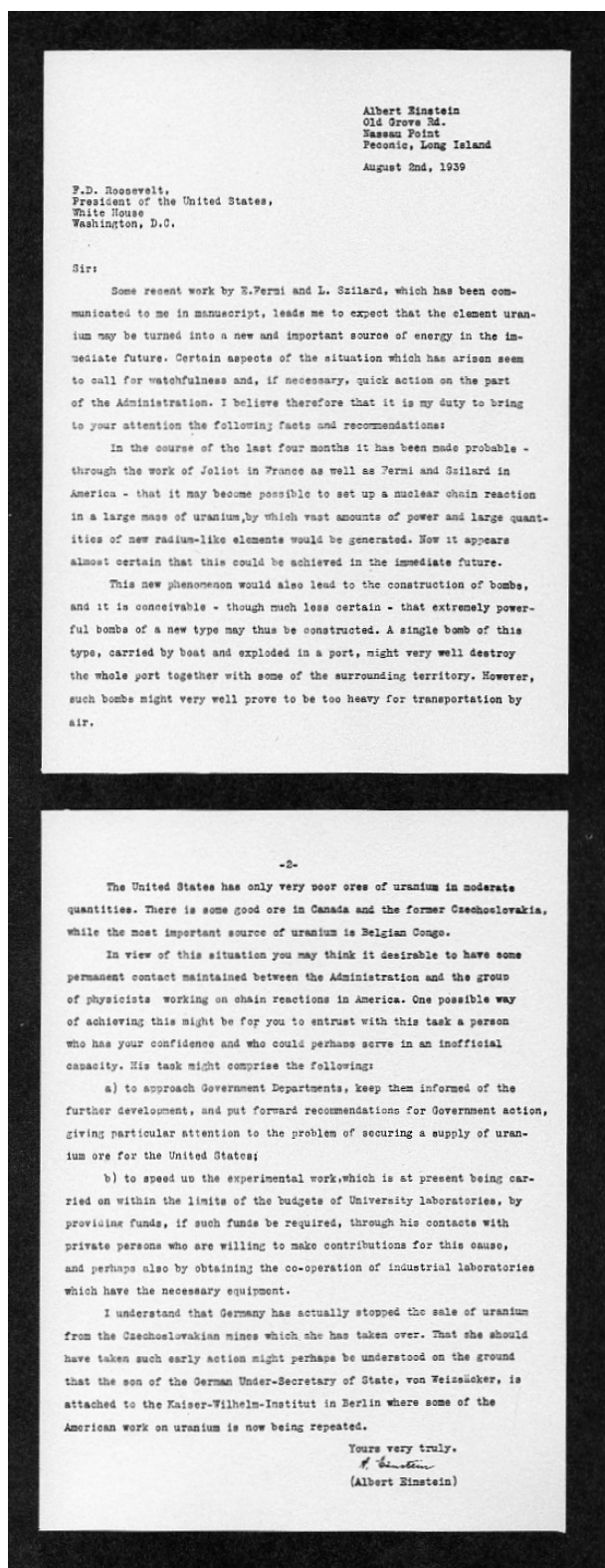


Figura 62. Finalmente, Szilard redactó una carta que Einstein firmó y envió al presidente Roosevelt.

Texto de la carta del 2 de agosto de 1939 al presidente de los Estados Unidos.

Como científico, estoy en deuda con mi amigo Leo Szilard; como ser humano, estoy en deuda con los muchos miembros de mi familia sacrificados en Auschwitz, merced a los cuales me encuentro ante esta cuenca como sobreviviente y testigo. Debemos curarnos del ansia de conocimiento absoluto y de poder. Debemos acortar la distancia entre la motivación de los impulsos y el acto humano. Debemos acercarnos más a nuestros semejantes.



Figura 63. Yo te suplico, por las entrañas de Cristo, que pienses en la posibilidad de estar equivocado.

El autor en elestanque de la prisión de Auschwitz.

12 GENERACION TRAS GENERACION

En el siglo XIX, la ciudad de Viena era capital de un imperio que comprendía una multitud de naciones e idiomas. Era un famoso centro musical, literario y artístico. En la Viena conservadora se desconfiaba de la ciencia, particularmente de la ciencia biológica. Pero, de modo inesperado, Austria fue también tierra fértil para una idea científica (y en biología) que fue revolucionaria.

En la antigua universidad de Viena, el fundador de la genética, y por tanto de todas las ciencias modernas relativas a la vida, Gregorio Mendel, realizó su limitada educación universitaria. Hizo su aparición en un momento histórico, durante la lucha que se libraba entre la tiranía y la libertad de pensamiento. En 1848, poco después del arribo de Mendel, dos jóvenes habían publicado, lejos, en Londres, en alemán, un manifiesto que principiaba con esta frase: *Ein Gesperrst geht um Europa*, «un espectro acecha a Europa», el espectro del comunismo.

Por supuesto que Karl Marx y Friedrich Engels no crearon las revoluciones de Europa a través de su *Manifiesto comunista*; pero les dieron un medio de expresión. Era la voz de la insurrección. Una ola de descontento se esparcía por Europa: contra los Borbones, los Habsburgos y contra los gobiernos en general. París se hallaba en ebullición en febrero de 1848, seguida por Viena y Berlín. Y así, en marzo de 1848, en la Plaza Universitaria de Viena, los estudiantes protestaron y lucharon contra la policía. Al igual que otros, el Imperio Austríaco flaqueó. Metternich renunció y huyó a Londres. El emperador abdicó.

Los emperadores se van, mas los imperios permanecen. El nuevo emperador de Austria era un joven de dieciocho años, Francisco José, quien reinó como un autócrata medieval hasta que el arruinado imperio se desintegró durante la primera Guerra Mundial. Aún recuerdo a Francisco José cuando yo era un niño; como otros Habsburgos, tenía los labios prominentes y la boca abultada que Velázquez pintó en los reyes españoles, y lo cual hoy es reconocido como una característica genética dominante.

Con la llegada de Francisco José al trono, los discursos de los patriotas cesaron; la reacción provocada por el joven emperador fue absoluta. En ese momento, el ascenso del hombre fue sigilosamente encauzado hacia una nueva dirección, merced a la incorporación de Gregorio Mendel a la Universidad de Viena. Hijo de un granjero, había sido bautizado como Johann Mendel; el nombre de Gregorio le fue asignado un poco antes, al convertirse en monje, frustrado por la pobreza y por la carencia de estudios. Toda su vida se comportaría como un niño campesino en cuanto a la forma de desempeñar su trabajo, no como un profesor ni como un caballero naturalista equiparable a sus contemporáneos en Inglaterra; era una suerte de naturalista doméstico.

Mendel se había metido a monje con el fin de poder realizar estudios, y su abad le destinó a la Universidad de Viena para que se recibiese de maestro. Mas era nervioso y no destacaría como estudiante. Su examinador escribió: «le falta perspicacia y el requisito de claridad en el conocimiento», y le reprobó. El muchacho granjero convertido en monje no tenía otra alternativa que la de adentrarse de nuevo en el anonimato del monasterio de Brno en Moravia, hoy parte de Checoslovaquia.

A su retorno de Viena en 1853, a la edad de treinta y un años, Mendel era un fracasado. Había sido enviado por la orden agustina de Santo Tomás en Brno, la cual se dedicaba a la enseñanza. El gobierno austríaco deseaba que los niños inteligentes del campesinado fueran enseñados por los monjes. Su biblioteca no era la de un monasterio, sino la de una orden pedagógica. Y

Mendel había fracasado en ser calificado como maestro. Tenía que decidirse entre pasar el resto de su vida como un maestro frustrado o como... ¿qué? Tomó su decisión, no como el monje Gregorio sino como el niño granjero a quien llamaban Hansl, el joven campesino Johann. Volvió la mirada a lo que había aprendido en la granja y a lo que siempre le había fascinado: las plantas.



*Figura 64. El ascenso del hombre fue sigilosamente encauzado hacia otra dirección merced a Gregorio Mendel.
Mendel en 1865.*

En Viena había estado bajo la influencia del único gran biólogo que conoció, Franz Unger, quien tenía una visión práctica y concreta de la herencia: sin esencias espirituales, sin fuerzas vitales, apegándose a los hechos reales. Y Mendel determinó dedicar su vida a los experimentos prácticos en biología, aquí, en el monasterio. Una tarea silenciosa y secreta, según creo, a causa de que el obispo local no permitía a los monjes ni siquiera enseñar biología.

Mendel inició sus experimentos formales dos o tres años después de su regreso de Viena, hacia 1856. Afirma en sus escritos que trabajó durante ocho años. La planta que había elegido cuidadosamente era el guisante doméstico. Seleccionó siete variedades para equipararlas: forma de la semilla, color de ésta y así sucesivamente, finalizando la lista con las longitudes de los tallos. Y de esta última característica es de la que hablaremos en seguida.

Vamos a realizar exactamente el mismo experimento de Mendel. Comenzaremos obteniendo un híbrido de tallos largo y corto, escogiendo las plantas progenitoras como especificó Mendel:

En los experimentos con este carácter, para poder discriminar con certeza, el tallo alto de aproximadamente dos metros fue siempre cruzado con el corto de 20 a 40 cm.

Con el fin de asegurarnos de que la planta corta no se fertilizará a sí misma, la emasculemos. Y después la inseminaremos artificialmente con la planta larga.

El proceso de fertilización sigue su curso. Los conductos polínicos crecen hacia los óvulos. Los granos de polen (equivalentes al esperma de los animales) se desplazan por los conductos polínicos hasta alcanzar los óvulos, tal como lo hacen en cualquier otro guisante fertilizado. La planta produce vainas que, por supuesto, no revelan todavía su carácter.

Plantamos después los guisantes de estas vainas. Al principio, su crecimiento no es distinto del de cualquier otro guisante doméstico. Pero aunque son sólo la primera generación de híbridos, su apariencia, cuando estén totalmente desarrollados, será una prueba para el concepto tradicional de la herencia sostenido por los botánicos, en ese entonces y mucho después. El punto de vista tradicional es el de que los caracteres de los híbridos corresponden a los de los progenitores. El concepto de Mendel era radicalmente diferente e incluso ya había esbozado una teoría para explicarlo.

Mendel había adivinado que un solo carácter está regulado por dos partículas (que actualmente conocemos como genes). Cada progenitor aporta una de ellas. Si las dos partículas o genes son diferentes, una será dominante y la otra recesiva. La cruce de plantas de guisante largas con cortas constituye el primer paso para verificar la validez de ello, he aquí que la primera generación de híbridos, una vez alcanzado su desarrollo completo, consta de plantas largas exclusivamente. En el lenguaje de la genética moderna, el carácter largo ha dominado sobre el carácter corto. No es verdad que los híbridos promedien la altura de sus progenitores; todas son plantas largas.

Ahora el segundo paso: formamos la segunda generación tal como hizo Mendel. Fertilizamos los híbridos, esta vez con su propio polen. Permitimos la producción de las vainas, sembramos las semillas y surge la segunda generación. No son todas de un sólo carácter, pues no hay uniformidad entre ellas; predominan las plantas altas, pero hay también una abundancia significativa de plantas cortas. La fracción del total que corresponde a las plantas cortas habrá de calcularse mediante el concepto de la herencia de Mendel; pues, de estar él en lo cierto, cada híbrido de la primera generación porta un gen dominante y otro recesivo. Por tanto, en uno de cada cuatro cruces de la primera generación de híbridos se derivan dos genes recesivos y, como resultado, una de cada cuatro plantas deberá ser corta. Y así es: en la segunda generación, una de cada cuatro plantas será corta, y largas las otras tres. Esta es la famosa proporción de uno de cada cuatro o de uno de cada tres, que siempre se relaciona con el nombre de Mendel... y ciertamente con razón. Como el propio Mendel consignara,

de un total de 1064 plantas, en 787 casos el tallo era largo y en 277 corto. En consecuencia, la razón es de 2,84 a 1... ahora bien, si conjuntamos los resultados de todos los experimentos, encontraremos, como entre el número de formas con caracteres dominantes y recesivos, una razón promedio de 2,98 a 1, ó de 3 a 1.

Está claro ahora que los híbridos forman semillas que poseen uno o dos caracteres diferenciales, de los cuales la mitad desarrolla de nuevo la forma híbrida, en tanto que la otra mitad produce plantas que permanecen constantes y que reciben los caracteres dominante o recesivos [respectivamente] en igual número.

Mendel publicó sus resultados en 1866, en el *Periódico de la Sociedad de historia natural de Brno*, lo cual pasó totalmente inadvertido. A nadie le interesaba. Nadie entendía su trabajo. Inclusive cuando escribió a una figura distinguida – aunque bastante insípida – en la materia, Karl Nägeli, estaba claro de que no tenía noción de lo que Mendel hablaba. Por supuesto que, de haber sido Mendel un científico profesional, habría presionado para difundir sus resultados o, cuando menos, lograr que se publicasen más extensamente en Francia o en Gran Bretaña, en algún diario leído por botánicos y biólogos. Trató, efectivamente, de llamar la atención de algunos científicos en el extranjero enviándoles copias de su escrito, mas esto era un largo camino para un documento desconocido publicado en un periódico también desconocido. Empero, en ese momento, en 1868, dos años después de la publicación del escrito, le ocurriría a Mendel algo de lo más inesperado. Fue designado abad de su monasterio. Y por el resto de su vida llevaría a cabo sus deberes con loable celo y un toque de neurótica dedicación.

Confió a Nägeli sus deseos de seguir adelante con sus experimentos reproductores. Mas lo único que Mendel estaba en posibilidad de realizar era la cría de abejas: siempre había querido transferir su trabajo de las plantas a los animales. Y naturalmente, siendo Mendel, reaparecería su mezcla usual de espléndida fortuna intelectual con mala suerte en lo práctico. Obtuvo una especie híbrida de abejas que producía una miel excelente; pero, ¡ay!, eran tan feroces que picaron a todos los habitantes de la comarca y hubieron de ser destruidas.

Da la impresión de que Mendel estaba más ejercitado en las demandas administrativas del monasterio que en lo tocante a la dirección religiosa. Y existen indicios de que la policía secreta del emperador lo veía con desconfianza. Detrás de la mirada apacible del abad se podía percibir el peso del pensamiento privado.

El enigma de la personalidad mendeliana es de naturaleza intelectual. Nadie pudo haber concebido estos experimentos a menos de que tuviera claramente en mente la respuesta que iba a conseguir. En virtud de este curioso estado de cosas, me veo obligado a abundar sobre el particular.

Primero, el aspecto práctico. Mendel eligió siete diferencias entre los guisantes para experimentar en aquella ocasión, tales como tallo corto contra tallo largo, etc. Pues bien, el guisante posee siete pares de cromosomas, de modo que se puede experimentar con siete caracteres genéticos situados en siete cromosomas diferentes. Y éste constituye el número mayor que se puede escoger. No se puede experimentar con ocho caracteres distintos sin ubicar dos genes en un solo cromosoma, los cuales estarán ligados al menos parcialmente. Nadie había pensado en los genes ni oído de su enlace. Nadie había oído hablar siquiera de los cromosomas cuando Mendel trabajaba en su documento.

Si alguno de nosotros fuese nombrado abad de un monasterio, ciertamente que sería un elegido de Dios: pero no podría tener *aquella* suerte. Mendel debió haber efectuado muchos experimentos y frecuentes observaciones antes de realizar su trabajo formal, hasta llegar al convencimiento de que estas siete cualidades o caracteres eran precisamente la cifra con la que podía seguir adelante. Y es aquí donde vislumbramos el enorme iceberg de la mente, en este aspecto recóndito, rostro escondido de Mendel, en el cual flotan el escrito y el logro. Y lo podemos ver; lo podemos ver en cada página del manuscrito: el simbolismo algebraico, las estadísticas, la claridad de la exposición; todo ello es genética moderna, esencialmente igual a la que se realiza hoy día, pero llevada a cabo hace más de cien años por un desconocido.

Y llevada a cabo por un desconocido poseedor de una inspiración trascendental: los caracteres presentan una diferenciación absoluta. Mendel concibió lo anterior en una época en que los biólogos consideraban como un axioma el que el cruce producía las características intermedias de los progenitores. Difícilmente podemos suponer que nunca apareciese un carácter recesivo y sólo podemos especular que cada vez determinaban los agricultores que se trataba de un híbrido lo deseaban, puesto que estaban convencidos de que la herencia estaba regida por el promedio.

¿De dónde obtuvo Mendel el modelo absoluto – todo o nada – de la herencia? Creo saberlo, aunque lógicamente no puedo ver dentro de su cabeza. Pero sí existe un modelo (y ha existido desde épocas inmemoriales) que es tan obvio que quizá ningún científico haya reparado en él: pero un niño o un monje tal vez sí. Tal modelo es el sexo. Los animales se han apareado durante millones de años, y los machos y las hembras de la misma especie no producen monstruos sexuales ni hermafroditas: producen un macho o una hembra, Hombres y mujeres han copulado por más de un millón de años, cuando menos; ¿y qué engendran? Hombres o mujeres. Este modelo tan simple como poderoso de «todo o nada», con el cual justipreciar las diferencias, debe de haber estado presente en la mente de Mendel, de manera que los experimentos y las ideas estaban claramente constituidos por una sola pieza y se acoplaban desde un principio.

Yo creo que los monjes sabían esto. Considero que no veían con agrado la labor de Mendel. Pienso que el obispo, quien ponía reparos a los experimentos con guisantes, estaba en desacuerdo. De ningún modo veían con buenos ojos su interés por la nueva biología; como, por ejemplo, cuando leyó la obra de Darwin, la cual le impresionó en alto grado. Por supuesto que sus colegas revolucionarios checoslovacos, a quienes con frecuencia daba asilo en el monasterio, le tuvieron aprecio hasta el final. Cuando murió, en 1884, a la edad de sesenta y dos años, el gran compositor checo Lcos Janáček tocó el órgano durante su funeral. Mas los monjes eligieron a un nuevo abad... y éste quemó todos los documentos de Mendel que había en el monasterio.

El gran experimento de Mendel permaneció en el olvido durante más de treinta años, hasta que fue resucitado (por varios científicos independientemente) en 1900. Así, pues, sus descubrimientos corresponden efectivamente al siglo presente, toda vez que el estudio de la genética florece súbitamente a partir de ellos.

Pero comencemos por el principio. La vida ha medrado en la Tierra durante tres mil millones de años o más. En dos tercios de este período los organismos se autorreprodujeron por división celular. Esta produce, como una regla, vástagos idénticos, y las formas nuevas aparecen muy raramente, por mutación. Así, pues, durante todo ese lapso, la evolución fue sumamente lenta. Los primeros organismos que se reprodujeron sexualmente estaban emparentados, según se cree actualmente, con las algas verdes. Esto ocurrió hace menos de mil millones de años. Ahí se inicia la reproducción sexual: primero en las plantas y después en los animales. A partir de entonces, su éxito la ha convertido en la norma biológica, hasta el punto de que, por ejemplo, determinamos que dos especies son diferentes si sus miembros no pueden procrear uno con otro.

El sexo produce diversidad, y la diversidad es propulsora de la evolución. La celeridad evolutiva es responsable de la existencia actual de una variedad deslumbrante de forma, color y comportamiento en las especies. Y es también responsable de la proliferación de las diferencias individuales propias de cada especie. Todo ello ha sido posible gracias a la aparición de los dos sexos. Ciertamente que la difusión del sexo a través del mundo biológico constituye una prueba de que, mediante la selección, las especies se adaptan a un nuevo ambiente. Pues el sexo no sería necesario si los miembros de una especie pudiesen heredar los cambios adquiridos, mediante los cuales los individuos se adaptan. A fines del siglo XVIII, Lamarck proponía esta cándida e insólita teoría de la herencia; mas de existir, ésta podría transmitirse mejor por medio de la división celular.

Dos es el número mágico. Es por eso que la selección sexual y el apareamiento se encuentran tan altamente evolucionados en las diferentes especies, en formas tan avanzadas como en el caso del pavo real. A esto se debe que el comportamiento sexual encaja con tanta precisión en el medio animal. De haberse podido adaptar la lisa sin la participación de la selección natural, no se tendría que tomar la molestia de bailar en las playas de California para sincronizar la incubación con el período lunar. El sexo no sería necesario para este pez ni para el resto de los animales que requieren de la adaptación. Y, asimismo, el sexo constituye una forma de selección natural para los mejor adaptados. El ciervo no suele luchar a muerte sino sólo para establecer su derecho a elegir hembra.

La multiplicidad de forma, color y comportamiento en los individuos como en las especies es producto del acoplamiento de los genes, como Mendel suponía. En el orden mecánico, los genes se extienden a lo largo de los cromosomas y se hacen visibles únicamente durante la división celular. Mas la cuestión no es la de cómo se distribuyen los genes; cuestión moderna es, ¿cómo actúan? Los genes están formados de ácidos nucleicos. Es *ahí* donde se efectúa la acción.

La manera en que se transmite el mensaje de la herencia de una generación a otra fue descubierta en 1953 y constituye la aventura científica del siglo XX. Considero que el

momento culminante del drama ocurrió durante el otoño de 1951, cuando un joven de veinticinco años, James Watson, llega a Cambridge y forma equipo con un hombre de treinta y cinco, Francis Crick, con el objeto de descifrar la estructura del ácido desoxirribonucleico, abreviado DNA. El DNA es un ácido nucleico, es decir: un ácido que se encuentra en la parte central de las células, y se ha puesto de manifiesto en los últimos diez años que los ácidos nucleicos son portadores de los mensajes químicos de la herencia transmitidos de generación en generación. Dos preguntas asaltaron a los investigadores de Cambridge, así como a los científicos de laboratorios tan distantes como los de California, ¿cuál es la química? y ¿cuál es la arquitectura?

¿Cuál es la química? O, en otras palabras, ¿cuáles son las partes que componen el DNA que se pueden mezclar entre sí y originar formas diferentes? Esto era bastante bien conocido. Estaba claro que el DNA estaba constituido de azúcares y fosfatos (tenían que encontrarse ahí, por razones de estructura) y cuatro pequeñas moléculas específicas o bases. Dos de las moléculas son muy pequeñas, la tiamina y la citosina, en cada una de las cuales los átomos de carbono, nitrógeno, oxígeno e hidrógeno se hallan dispuestos en forma de hexágono. Y dos de ellas son bastante más grandes, la guanina y la adenina, en cada una de las cuales los átomos están distribuidos conjuntamente en hexágono y pentágono. Es común que en el trabajo estructural se represente a cada una de las bases pequeñas simplemente mediante un hexágono, y a las grandes con una figura mayor, con el fin de destacar más las formas que los átomos individuales.

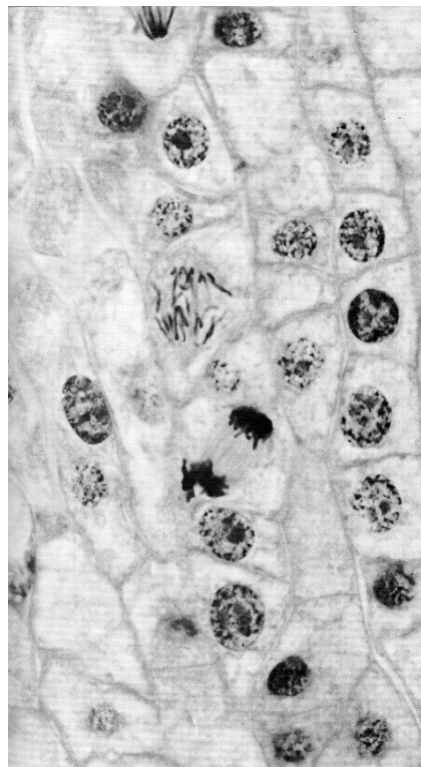


Figura 65. Los genes se extienden a lo largo de los cromosomas y se hacen visibles únicamente durante la división celular.

Grandes cromosomas de las células exteriores de una cebolla.

¿Y cuál es la arquitectura? O, planteado de otra manera, ¿cuál es la disposición de las bases que dan al DNA la habilidad de expresar múltiples mensajes genéticos diferentes? Pues un edificio no consiste de un montón de piedras, y la molécula del DNA no es un montón de bases. ¿Qué es lo que le da su estructura y por ende su función? Ya estaba claro desde entonces que la molécula DNA era una larga cadena extendida, aunque bastante rígida: una especie de cristal orgánico. Y parecía factible que fuese una hélice (o espiral). ¿Cuántas hélices en

paralelo? ¿Una, dos, tres, cuatro? Existía una diferencia de opiniones en dos campos fundamentales: el campo de dos hélices y el campo de tres. Y sucedió que, a fines de 1952, el gran genio de la estructura química, Linus Pauling, propuso en California un modelo de tres hélices. El sostén de azúcar y fosfato se extendía por el centro y las bases sobresalían en todas direcciones. El documento de Pauling llegó a Cambridge en febrero de 1953, y a Crick y a Watson les dio la impresión desde un principio de que contenía algo equívoco.

Puede haber sido un simple desahogo o un toque de perversidad maliciosa lo que orilló a Jim Watson a decidirse en este instante por la búsqueda de la hélice doble. después de una visita a Londres,

Una vez que hube regresado a la universidad en bicicleta y sorteado la verja, me decidí a construir modelo de dos cadenas. Francis tenía que estar de acuerdo. A pesar de ser un físico, él estaba al tanto de que los objetos biológicos importantes se presentan en pares.

Más aún, él y Crick empezaron a buscar una estructura cuyo sostén se extendiese hacia fuera; una suerte de espiral en forma de escalera, con los azúcares y los fosfatos extendiéndose como dos pasamanos. Efectuaron experimentos exhaustivos para determinar cómo podían adaptarse las bases – a modo de peldaños – en ese modelo. Y ocurrió que, después de cometer un error particularmente grave, todo se hizo evidente ante sus ojos.

Volví la cabeza, vi que no era Francis, y comencé a alternar las bases en mi intento por aparear otras posibilidades. De pronto me percaté de que un par de adenina-tiamina mantenido unido por dos enlaces de hidrógeno era de forma idéntica a un par de guanina-citosina.

Por supuesto; cada peldaño debe contar con una base pequeña y una grande. Pero no cualquier base grande. La tiamina debe aparearse con la adenina, y si se tiene citosina ésta deberá aparearse con guanina. Las bases se encuentran en pares, de las cuales cada una determina a la otra.

Es así que el modelo de molécula del DNA es una escalera espiral. Es una espiral que gira hacia la derecha y cuyos segmentos son de un mismo tamaño; poseen igual distancia intermedia y giran en la misma proporción: treinta y seis grados entre los segmentos sucesivos. Y si la citosina se encuentra en un extremo del peldaño, la guanina se encontrará en el otro ; y ocurre igual con el otro par base. Ello implica que cada mitad de la espiral lleva el mensaje completo, de manera que, en cierto sentido, la otra mitad es redundante.

Construyamos la molécula en una computadora. Esquemáticamente, es un par base; las líneas punteadas entre los extremos son los enlaces que sostienen juntas a las dos bases. Lo colocamos en la posición terminal en la cual lo vamos a apilar. Y ahora hacemos lo propio en el fondo del lado izquierdo de la imagen de la computadora, donde habremos de construir toda la molécula del DNA, literalmente paso a paso.

He aquí un segundo par; podría ser de la misma clase del primero o de clase opuesta; y se podría comportar ambas maneras. Lo apilamos sobre el primer par y lo giramos treinta y seis grados. Incluimos después un tercer par con el que realizamos lo mismo. Y así sucesivamente.

Estos peldaños son una clave que guiará a la célula, paso paso, para que produzca las proteínas necesarias para la vida. El gen se forma visiblemente, ante nuestros propios ojos, y los pasamanos de azúcares y fosfatos sostienen con rigidez la escalera espiral en cada uno de sus extremos. La espiral de la molécula DNA es un gen, un gen en acción, los peldaños son los pasos mediante los cuales actúa.

El 2 de abril de 1953, James Watson y Francis Crick enviaron a la revista Nature el documento que describe la estructura del DNA, en el cual habían trabajado únicamente Durante dieciocho meses. En palabras de Jacques Monod, del Instituto Pasteur de París y del Instituto Salk de California,

la invariante biológica fundamental es el DNA. Es por ello que la definición de gen de Mendel, como el portador invariable de los rasgos hereditarios, su identificación química lograda por Avery (y

confirmada por Hershey) y la elucidación de Watson y Crick acerca de las bases estructurales de su invariancia reiterativa, constituyen sin lugar a dudas los descubrimientos más importantes jamás realizados en biología. A lo cual, obviamente, se debe añadir la teoría de la selección natural, cuya autenticidad y pleno significado pudieron ser confirmados por aquellos últimos descubrimientos.

El modelo del DNA se presta manifiestamente al proceso de repetición que es fundamental para la vida incluso antes que el sexo. Cuando una célula se divide, las dos espirales se separan. Cada base se establece al lado opuesto del otro miembro del par al que pertenece. Tal es el punto de redundancia de la hélice doble: porque cada mitad porta todo el mensaje o instrucción, cada vez que se divide la célula se produce el mismo gen. Dos, el número mágico, constituye aquí el medio por el cual una célula transmite su identidad genética cuando se divide.

La espiral del DNA no es un monumento. Es un mensaje, un móvil viviente que instruye a la célula sobre cómo realizar el proceso vital paso a paso. La vida se ajusta a un itinerario, y las gradas de la espiral del DNA codifican y señalan la secuencia de dicho itinerario. La maquinaria de la célula efectúa la lectura de las gradas en forma ordenada, una después de la otra. Una secuencia de tres gradas actúa como señal para que la célula produzca un aminoácido. Conforme los aminoácidos se forman ordenadamente, se alinean y se arman en la célula como proteínas. Y las proteínas constituyen los agentes constructores de la vida dentro de la célula.

Cada célula del cuerpo es portadora del potencial completo para hacer todo el animal, excepto el espermatozoide y la célula huevo. El espermatozoide y la célula huevo se hallan incompletos ya que, esencialmente, son medias células: portan la mitad del número total de genes. Después, cuando el huevo es fertilizado por el espermatozoide, los genes de ambos elementos se unen en pares, como había previsto Mendel, y el total de mensajes o instrucciones se fusiona de nuevo. Así, pues, el huevo fertilizado es una célula completa y constituye el modelo de todas las células del cuerpo. Pues toda célula se encuentra formada por la división del huevo fertilizado y es por tanto idéntica a éste en su integración genética. Como un embrión de pollo, el animal cuenta con el legado del huevo fertilizado a través de toda su vida.

Conforme el embrión se desarrolla, las células se diferencian. El sistema nervioso se empieza a definir a lo largo del cordón nervioso primitivo. Grupos de células rodean a este para formar la espina dorsal. Las células se especializan; células nerviosas, células musculares, tejido conjuntivo (de ligamentos y tendones), células sanguíneas, vasos sanguíneos. Las células se especializan debido a que han actuado las instrucciones del DNA de producir únicamente las proteínas que precisa cada una de ellas para su funcionamiento. En ello estriba la acción del DNA.

El bebé es un individuo a partir de su nacimiento. El acoplamiento de los genes de ambos progenitores ha agitado las aguas de la diversidad. El niño hereda dones de sus progenitores, y el azar ha combinado estos dones en un nuevo y original arreglo. El niño no es un prisionero de su herencia; ésta es de nueva creación y sus acciones futuras la habrán de manifestar.

El niño es un individuo. La abeja no lo es, porque el zángano es una en una serie de réplicas idénticas. En toda colmena, la hembra es la única hembra fértil. Cuando ésta se aparea con un zángano en el aire asimila el espermatozoide; el zángano muere. Si la abeja libera un huevo conteniendo espermatozoide, se producirá una abeja obrera: una hembra. Si deposita un huevo sin liberación de espermatozoide se producirá un zángano: un macho, una especie de partenogénesis. Es éste un paraíso totalitario, por siempre leal, por siempre fijo, como consecuencia de haberse apartado de la aventura de la diversidad que conduce y cambia a los animales superiores y al hombre.

Un mundo tan rígido como el de las abejas podría ser creado con animales superiores y aún con seres humanos, mediante la formación de una colonia de animales idénticos provenientes de las células de un solo progenitor. Tomemos por caso a la población mixta de un anfibio, el ajolote.

Supongamos que decidimos elegir un solo tipo, el ajolote moteado. Nos proveemos de algunos huevecillos de un ajolote moteado hembra y permitimos el desarrollo de un embrión destinado a ser moteado. Ahora extraemos del embrión un número de células. No importa de dónde en el embrión las extraigamos, puesto que su contenido genético es idéntico y cada célula posee la capacidad de desarrollar un animal completo: nuestro procedimiento lo corroborará.

Vamos a criar animales idénticos, uno de cada célula. Necesitamos un portador en el cual desarrollar las células: cualquier ajolote hembra se encargará de ello, y habrá de ser blanca. Extraemos los huevos fertilizados del portador y destruimos el núcleo de cada huevo. Después introducimos dentro de éstos una sola de las células idénticas aisladas del padre moteado. En los huevecillos se desarrollarán ajolotes moteados.

Los huevos idénticos producidos en esta forma se desarrollan al mismo tiempo. Cada uno de ellos se divide en el mismo momento: se divide una vez, se divide dos veces, y así continúa dividiéndose. Todo ello es normal, exactamente como en cualquier huevo. En la siguiente etapa, las divisiones celulares individuales ya no serán visibles. Cada uno de los huevecillos se ha tornado en una especie de pelota de tenis y comienzan a voltearse de dentro hacia fuera, aunque sería más exacto decir que de fuera hacia dentro. Sea como fuere, todos los huevos se encuentran en la misma fase. Cada huevo se dobla sobre sí para formar el animal, siempre al mismo tiempo: un mundo reglamentado en que las unidades obedecen cada una de las órdenes, de manera idéntica y en el momento preciso, con excepción de un caso (que veremos) en el cual ha habido un rezago y ha quedado excluido. Y contamos finalmente con el grupo de ajolotes individuales, cada uno de ellos copia idéntica del padre, y cada uno de ellos procedente de una partenogénesis, como en el caso del zángano.

¿Se podría realizar lo mismo con seres humanos? ¿Copias de una bella madre, tal vez, o de un padre inteligente? Por supuesto que no. Yo considero que la diversidad constituye el aliento de la vida, y que no debemos cambiar esto por una sola forma que vaya de acuerdo con nuestra fantasía, incluso con nuestra fantasía genética. Este agrupamiento es la estabilización de una forma, lo cual se opone a toda la corriente de la creación, y particularmente de la creación humana. La evolución está fundada en la variedad y crea la diversidad; y de todos los animales, el hombre es el más creativo debido a que ostenta y expresa las reservas más grandes de la variedad. Toda intenciona por darnos uniformidad, ya sea biológica, emocional o intelectual, constituye una traición al empuje evolutivo que ha hecho del hombre su máxima expresión.

Sin embargo, es extraño que los mitos de la creación en las culturas humanas parezcan casi añorar a un grupo ancestral. Se manifiesta una curiosa supresión del sexo en las arcaicas historias de los orígenes del hombre. Eva es extraída de la costilla de Adán, y hay una marcada preferencia por la partenogénesis.

Felizmente, no estamos congelados en copias idénticas. En la especie humana, el sexo se encuentra sumamente desarrollado. La hembra es receptiva en todo momento, cuenta con senos permanentes, torna parte activa en la selección sexual. Parecería que la manzana de Eva fertiliza a la humanidad; o al menos la incita a su preocupación eterna.

Es obvio que el sexo posee un carácter muy especial para los seres humanos. Contiene un carácter biológico especial. Expliquémoslo con sencillez y con lógica: somos la única especie en que la hembra presenta orgasmos. Esto es algo extraordinario, mas es verdad. Es muy importante el hecho de que, en general, existe una diferencia mucho menos marcada entre hombre y mujer (en el orden biológico y en el comportamiento sexual) que la que se aprecia en otras especies. Esta puede parecer una mención sorprendente. Mas para el gorila y el chimpancé, cuyas diferencias entre macho y hembra son enormes, esto resultaría obvio. En términos biológicos, el dimorfismo sexual es pequeño en la especie humana.

Esto en cuanto a la biología. Pero existe un punto en la frontera entre la biología y la cultura que señala realmente la simetría en la conducta sexual, según considero, de manera impactante. Es un punto obvio. Somos la única especie que copula cara a cara, y esto es algo universal en

todas las culturas. Esto es para mí la expresión de una igualdad general que ha sido importante en la evolución del hombre, según pienso, desde la época del *Australopithecus* y de los primeros realizadores de herramientas.



*Figura 66. Eva es extraída de la costilla de Adán.
"La creación de la mujer" por Andrea Pisano.*

¿Por qué he dicho lo anterior? Bien, tenemos que explicar algo. Tenemos que explicar la velocidad de la evolución humana en un lapso de uno, tres, o digamos cinco millones de años cuando mucho. Eso es vertiginosamente rápido. La selección natural simplemente no actúa tan rápidamente como la correspondiente a las especies animales. Nosotros, los homínidos, debemos haber aportado una forma propia de selección; y la elección obvia es la selección sexual. Hay evidencia en la actualidad de que la mujer se desposa con el hombre que es intelectualmente como ella y que el hombre hace otro tanto. Y si esta preferencia se remonta efectivamente a algunos millones de años atrás, ello significa que la selección por habilidades ha sido siempre importante para los dos sexos.

Considero que tan pronto como los predecesores del hombre dispusieron de habilidad manual para elaborar herramientas y una mayor inteligencia para planearlas, la destreza y la inteligencia disfrutaron de una ventaja selectiva. Estaban en condiciones de obtener un número mayor de apareamientos y de engendrar y alimentar a una prole más abundante que el resto. De ser cierta esta especulación, explicaría cómo la habilidad manual y la rapidez mental han podido dominar la evolución biológica del hombre y de impulsarla con tanta velocidad. ¡Y demostraría que aun en su evolución biológica, el hombre ha sido empujado suavemente y conducido por un talento cultural: la habilidad de diseñar herramientas y planes comunales. Creo que esto se expresa incluso en el cuidado manifiesto de todas las culturas, tanto a nivel familiar como comunal, y de manera privativa en las culturas humanas, en lo tocante al arreglo que reveladoramente se suele llamar «una buena pareja».

Sin embargo, de haber sido este el único factor selectivo, ciertamente que seríamos mucho más homogéneos de lo que somos. ¿Qué mantiene con vida la variedad entre los seres humanos? Tal es un aspecto cultural. En toda cultura existen también salvaguardas especiales para producir la variedad. La más trascendental de todas ha sido la prohibición universal del incesto (para el hombre común, esto no se aplica exclusivamente a las familias reales). La prohibición del incesto sólo tiene significado si está destinada a evitar el dominio de los machos más viejos sobre un grupo de hembras, tal como ocurre (digamos) en los grupos de simios.

La preocupación por la elección de la pareja, tanto para el macho como para la hembra, la concibo como un eco procedente de la gran fuerza selectiva por medio de la cual hemos

evolucionado. Toda la ternura, el aplazamiento del matrimonio, los preparativos y los preliminares que se manifiestan en todas las culturas, son expresión de la importancia que damos a las cualidades ocultas en una pareja. Son muchas las semejanzas universales que en este sentido se aprecian a través de todas las culturas. La nuestra es una especie cultural, y creo que la insólita atención que prestamos a la elección sexual nos ha ayudado a moldearla.



Figura 67. “Los misterios del amor crecen en las almas... sin embargo, del cuerpo se aprende”. La mano del mercader de Lucca, Giovanni Arnolfini, y su prometida, Giovanna Cenami, hija de un mercader radicado en París, pintado en 1434 por Jan van Eyck.

La mayor parte de la literatura mundial, la mayor parte del arte mundial, se han ocupado del tema en que un muchacho se encuentra con una chica. Solemos concebir esto como una preocupación normal que no precisa explicación. Pero yo considero que esto es un error. Pues, por el contrario, expresa el hecho de que somos excepcionalmente cuidadosos en la elección, no de quien va a compartir nuestro lecho, sino de con quién vamos a engendrar hijos. El sexo fue inventado como un instrumento biológico por (digamos) las algas verdes. Mas como instrumento en el ascenso del hombre, básico para su evolución cultural, fue inventado por el hombre mismo.

El amor espiritual y el amor carnal son inseparables. Un poema de John Donne afirma esto; se llama *El éxtasis*, y he seleccionado ocho líneas de casi ochenta.

*El día entero, nuestras actitudes eran las mismas,
y guardábamos silencio, todo el día.*

*Pero, ¡ay!, tanto tiempo perdido, tanto andar,
¿por que nuestros deseos preservar?*

*Tal éxtasis nos dejó perplejos
(dijimos) y nos invitó a amar.*

*Los misterios del amor en las almas crecen,
pero escapan por los poros de la piel.*

13 LA LARGA INFANCIA

Inicio este último ensayo en Islandia porque es asiento de la democracia más antigua del norte de Europa. En el anfiteatro natural de Thingvellir, donde jamás hubo edificaciones, se reunía todos los años la comunidad entera de normandos de Islandia, con objeto de proponer o recibir leyes. Y esto comenzó hacia el año 900 d. de C., antes de que el cristianismo llegase a estos lugares, en la época en que China era un gran imperio y Europa sufría los despojos de príncipes y barones. Tal es una notable iniciación de la democracia.

Pero hay todavía algo más notable respecto a este nebuloso e inclemente lugar. Fue escogido porque el labriego que había sido su propietario asesinó, no a otro labriego sino a un esclavo, y fue proscrito. Rara vez se ejerció tan equilibradamente la justicia en países donde prevalecía la esclavitud. Empero, la justicia es universal en todas las culturas. Es ésta una cuerda floja en que el hombre camina entre el impulso de satisfacer sus deseos y la aceptación de su responsabilidad social. Ningún animal afronta este dilema: un animal puede ser social o solitario. Sólo el hombre aspira a ser ambos, un solitario social. Y para mí es uno de sus rasgos biológicos exclusivos. Este es el tipo de problema que involucra mi trabajo sobre las especificaciones humanas y que deseo discutir.

Es desconcertante pensar que la justicia forma parte del equipo biológico del hombre. No obstante, fue justamente esta idea la que me hizo cambiar la física por la biología, y me ha enseñado desde entonces que la vida de un hombre, que el hogar de un hombre, es un sitio apropiado en el cual estudiar su singularidad biológica.

Es natural que, por tradición, la biología se considere de un modo diferente: que la haya dominado la similitud entre el hombre y los animales. Hacia el año doscientos de nuestra era, el gran autor clásico de la medicina de la antigüedad, Claudio Galeno, estudiaba, por ejemplo, el antebrazo humano. ¿Cómo lo estudiaba? Disecando el antebrazo de un mono de Gibraltar. Es así como se empieza, haciendo uso de la evidencia que proporcionan los animales, mucho antes de que la teoría de la evolución justificase la analogía. Ya en nuestros días, el estupendo trabajo de Konrad Lorenz sobre el comportamiento de los animales nos hace buscar las semejanzas entre el pato, el tigre y el hombre; o el estudio psicológico de B. F. Skinner sobre palomas y ratas. Ambos nos dicen algo sobre el hombre. Pero no pueden decírnoslo todo. Debe existir algo único acerca del hombre, pues, de no ser así, lógicamente, los patos se hallarían dictando conferencias sobre Konrad Lorenz y las ratas redactarían documentos acerca de B. F. Skinner.

Pero no nos andemos por las ramas. El caballo y el jinete poseen muchos rasgos anatómicos comunes. Mas es la criatura humana la que cabalga y no a la inversa. Y el jinete es un buen ejemplo, ya que el hombre no fue creado para montar a caballo. No existe ningún circuito dentro del cerebro que nos convierta en jinetes. La monta a caballo constituye un invento comparativamente reciente, de menos de cinco mil años de antigüedad. Y no obstante, ha tenido un influjo enorme, por ejemplo, en nuestra estructura social.

La plasticidad del comportamiento humano hizo eso posible. Tal es nuestra característica; en nuestras instituciones sociales, por supuesto, aunque para mí se manifiesta especialmente en los libros, puesto que constituyen el producto permanente de los intereses totales de la mente humana. Vienen a mi memoria como el recuerdo de mis padres: Isaac Newton, el gran personaje que dominaba a la Royal Society a principios del siglo XVIII, y William Blake, que escribió las *Canciones de la inocencia* a fines del mismo siglo. Son ellos dos aspectos de una sola mente, y ambos son lo que los biólogos de la conducta denominan «especie específica».

¿Cómo podría simplificar esta cuestión? Hace poco escribí un libro que intitulé *La identidad del hombre*. No tuve oportunidad de ver la portada de la edición inglesa hasta que el libro me llegó impreso. Y, no obstante, el artista entendió exactamente lo que estaba en mi mente, al plasmar en la cubierta un dibujo del cerebro y de la *Mona Lisa*, ésta sobre aquél. Con su acción demostró la tesis del libro. El hombre es único no por su obra científica, es único no por su obra artística, sino porque tanto la ciencia como el arte son expresiones de su prodigiosa plasticidad mental. Y la *Mona Lisa* constituye un muy buen ejemplo, pues, después de todo, ¿qué hizo Leonardo la mayor parte de su vida? Realizó dibujos anatómicos, tales como el niño en el útero materno, perteneciente a la Colección Real de Windsor. Y el cerebro y el niño son el punto de partida de la plasticidad del comportamiento humano.

Soy poseedor de un objeto que atesoro: el molde del cráneo de un niño, cuya antigüedad es de dos millones de años, el niño de Taung (ver pág. 13). Por supuesto que no se trata estrictamente de un niño humano. Y empero si ella – siempre he creído que fue una niña – hubiese vivido el tiempo suficiente, podría haber sido mi ancestro. ¿Qué distingue su pequeño cerebro del mío? Desde luego que el tamaño. De haber crecido la niña, su cerebro habría pesado tal vez un poco más de medio kilo. En tanto que el mío – el cerebro promedio de la actualidad – pesa kilo y medio.



Figura 68. El hombre es único no por su obra científica, es único no por su obra artística, sino porque tanto la ciencia como el arte son expresiones iguales de su prodigiosa plasticidad mental.

El autor en su casa, con vaciado del cráneo de niño de Taung. Una copia de su libro “La identidad del hombre” aparece sobre la mesa. La Jolla, California, 1973.

No voy a hablar acerca de la estructura de las neuronas, ni de la conductividad unilateral de los tejidos nerviosos, ni siquiera del cerebro arcaico y del moderno, porque compartimos estas características con muchos animales. Voy a tratar el cerebro como específico de la criatura humana.

La primera pregunta sería, ¿es el cerebro humano la mejor computadora?, ¿la más compleja de las computadoras? Por supuesto que, los artistas en especial, suelen concebir el cerebro como una computadora. Así, en su *Retrato del Dr. Bronowski*, Terri Durham plasma símbolos del espectro y la computadora, pues es así cómo un artista imagina el cerebro de un científico. Pero

ciertamente que esto no puede ser verdad. Si el cerebro fuese una computadora, desempeñaría un conjunto de acciones programadas, apegándose a una secuencia inflexible.

A guisa de ejemplo, consideremos un excelente estudio de comportamiento animal, descrito en la obra de mi amigo Dan Lehrman, sobre el apareamiento de la paloma torcaz. Si el macho ronda a la hembra correctamente y se inclina de cierto modo, entonces la hembra explota de excitación, todas sus hormonas se agitan e inicia una secuencia de la cual forma parte la construcción de un nido perfecto. Sus acciones son exactas en detalle y orden, pese a que son instintivas y por tanto invariables; la paloma torcaz nunca las varía. Nadie la ha aprovisionado con un determinado material para que aprenda a construir el nido. Ningún ser humano sería capaz de construir nada de no haber aprendido en su niñez a superponer ladrillos. Tal es el principio del Partenón y del Taj Mahal; del domo del Sultaniyeh y de las Torres de Watts; de Machu Picchu y del Pentágono.

No somos computadoras que sigan rutinas establecidas a nuestro nacimiento. Si somos alguna especie de máquina, somos una «máquina de aprender», lo cual hacemos por mediación de zonas específicas del cerebro que se encargan de nuestro aprendizaje trascendente. Así, pues, sabemos que el cerebro no sólo ha duplicado o triplicado su tamaño durante su evolución. Se ha desarrollado en zonas muy especiales: la del control manual, por ejemplo, la del control del habla, la del control de la previsión y el planeamiento. Creo que sería conveniente analizarlas una a una.

Consideremos primero la mano. Ciertamente que la evolución reciente del hombre se inicia con el desarrollo predominante de la mano y con la selección de un cerebro particularmente adepto a la manipulación de ésta. Sentimos el placer de ello en nuestras acciones, de ahí que para el artista la mano ostente un símbolo trascendental: la mano de Buda, por ejemplo, otorgando al hombre los dones humanos en actitud reposada, el don de la intrepidez. Pero aun para el científico la mano posee una característica especial: podemos oponer el pulgar a los dedos. Bien, pero los simios también lo pueden hacer. Sin embargo, nosotros podemos oponer el pulgar precisamente al dedo índice, y esto es un gesto privativamente humano. Y es posible merced a que contamos con una zona en el cerebro, la cual es tan grande que, para describir su tamaño, lo haré de este modo: empleamos más materia gris del cerebro en la manipulación del pulgar que en el control total del pecho y del abdomen.



*Figura 69. Solamente el hombre puede oponer el pulgar precisamente al dedo índice.
Autorretrato de Alberto Durero.*

Me recuerdo como joven padre ante la cuna de mi primera hija a los cinco días de nacida, y pensando: «Esos maravillosos dedos, cada articulación tan perfecta, hasta las mismas uñas. Yo no podría haber diseñado esos detalles ni en un millón de años». Y fue exactamente un millón de años lo que tardé, fue un millón de años lo que demoró la humanidad, para que la mano dirigiese el cerebro y para que éste retroalimentase y condujese la mano hasta alcanzar su actual estado evolutivo. Y esto se efectúa en un lugar sumamente específico del cerebro. Todas las operaciones manuales son controladas esencialmente por una parte del cerebro que se puede delimitar, cercana a la parte superior de la cabeza.



Figura 70. Ningún ser humano sería capaz de construir nada de no haber aprendido en su niñez a superponer ladrillos.

El autor en Grantchester, Cambridge, con su nieto Daniel Bruno Jardine.

Consideremos ahora una parte del cerebro más específicamente humana, la cual no existe en animal alguno: la del habla. Esta se localiza en dos zonas del cerebro humano conectadas entre sí; una de ellas se encuentra cerca del centro de la audición y la otra está situada más al frente y hacia arriba, en los lóbulos frontales. ¿Se encuentra programada? Sí, en cierto sentido, pues de no contar con centros del habla intactos no nos sería posible hablar. Y, sin embargo, ¿se tiene que aprender a hablar? Por supuesto que sí. Yo hablo inglés, el cual aprendí a la edad de trece años; pero no podría hablar inglés de no haber aprendido antes otra lengua. Como vemos, si se priva a un niño del aprendizaje de idiomas hasta alcanzar los trece años, le sería casi imposible llegar a hablar. Yo hablo inglés porque aprendí polaco a la edad de dos años. He olvidado completamente el polaco, pero aprendí lo que es el *lenguaje*. Nos hallamos frente a otro de los dones humanos que nuestro cerebro es capaz de asimilar y desarrollar.

Las zonas del habla son sumamente peculiares en otra forma, también humana. Sabemos que el cerebro humano no es simétrico en sus dos mitades. Estamos familiarizados con la observación de que, a diferencia de otros animales, el hombre es marcadamente diestro o zurdo. El habla está controlada por un solo lado del cerebro, el cual no varía de ubicación. Trátese de un diestro o de un zurdo, el habla se sitúa casi con certeza del lado izquierdo. Hay excepciones,

del mismo modo que hay personas cuyo corazón se encuentra en el lado derecho; pero tales casos son raros: de manera general, la zona del habla se ubica en la mitad izquierda del cerebro. ¿Y qué hay de las zonas equivalentes del lado derecho? Todavía no lo sabemos con exactitud. No sabemos con exactitud cuáles son las funciones de la zona del cerebro que corresponde a la mano derecha, cuya zona opuesta del lado izquierdo se encarga del habla. Pero parece que tiene la misión de ajustar el impulso procedente del ojo – el plano bidimensional percibido por la retina – y convertirlo u organizarlo en una imagen tridimensional. De ser así, y desde mi punto de vista, entonces está claro que el habla es también una forma de armar el mundo uniendo sus distintas partes como imágenes móviles.

La organización de la experiencia es muy previsora en el hombre y está situada en una tercera zona de especificidad humana. La organización principal del cerebro se encuentra en los lóbulos frontales y en los prefrontales. Yo soy, como todos los hombres, un erudito, un intelectual, puesto que así es como funciona nuestro cerebro. En contraste, sabemos que el cráneo de Taung no perteneció a un niño fallecido hace poco y que por error se hubiese confundido con un fósil, ya que presenta una frente todavía bastante deprimida.

¿Cuál es exactamente la función de estos grandes lóbulos frontales? Bien puede ser que realicen varias funciones, ciertamente, y no obstante efectúan una específica e importante. Nos permiten concebir acciones del futuro y aguardar hasta su realización.

Algunos hermosos experimentos sobre esta respuesta demorada fueron llevados a cabo inicialmente por Walter Hunter hacia 1910, y refinados después por Jacobsen en los años treinta. La experiencia de Hunter funcionaba así: se proveía de una recompensa, la mostraba a algún animal y la ocultaba después. Los resultados obtenidos con el animal predilecto de los laboratorios, la rata, son típicos. Si se toma a una rata y se le muestra la recompensa, permitiéndole acudir a ella de inmediato, la rata sabrá encontrarla. Mas si se mantiene a la rata esperando algunos minutos, ya no estará en condiciones de ubicar su recompensa.

Los niños, por supuesto, son totalmente diferentes. Hunter realizó los mismos experimentos con niños, observando que se puede hacer esperar a niños de cinco o seis años de edad durante media hora, tal vez una hora completa. Hunter tenía una pequeña a quien trataba de mantener ocupada mientras la hacía esperar y al mismo tiempo le hablaba. Por fin ella le dijo, «¿Sabes?, yo creo que sólo estás tratando de hacerme olvidar».

La habilidad de planear acciones para las cuales la recompensa se encuentra muy distante constituye una función de la respuesta demorada, denominada «la postergación de la gratificación» por los sociólogos. Es una característica fundamental del cerebro humano, la cual carece de un equivalente rudimentario en los cerebros de los animales hasta que éstos no se encuentren en sitios más avanzados en la escala evolutiva, como es el caso de nuestros primos los monos y los simios. Este desarrollo humano significa que nuestra primera educación está muy relacionada con nuestra facultad de posponer decisiones. Aquí estoy expresando algo distinto al enfoque de los sociólogos. *Tenemos* que posponer el proceso de realización de decisiones con el fin de acumular conocimientos suficientes como una preparación para el futuro. Esta parece una mención extraordinaria. Mas en ello consiste la infancia, en ello consiste la pubertad, en ello consiste la juventud.

Deseo poner énfasis en el aplazamiento de *decisiones* de manera sumamente dramática, y expreso esta palabra en sentido literal. ¿Cuál es el drama más importante de la literatura inglesa? Es *Hamlet*. ¿De qué trata esta obra? Pues trata de un joven – un muchacho – que se enfrenta con la primera gran decisión de su vida. Y es una decisión fuera de su alcance: dar muerte al asesino de su padre. Es inútil que el fantasma le incite exclamando, «Venganza, venganza». El hecho es que el joven Hamlet simplemente no ha madurado. Intelectual o emocionalmente no está preparado para el acto que se le pide efectuar. Y la obra entera es una interminable postergación de su decisión mientras lucha consigo mismo.

El clímax acontece a mitad del acto III. Hamlet contempla al rey en oración. Las direcciones

escénicas son tan inciertas que incluso podría escuchar al rey en oración, confesando su crimen. ¿Y qué dice Hamlet? «¡Debo hacerlo ahora y prontamente!» Pero no lo hace; es simplemente que no está listo para cometer un acto de tal magnitud en su juventud. Así, al final de la obra, Hamlet es asesinado. Mas la tragedia no es que Hamlet muera; consiste en que muere exactamente cuando ya está preparado para convertirse en un gran rey.

En el hombre, antes de que el cerebro se convierta en instrumento activo ha de ser instrumento de preparación. En ello participan zonas sumamente específicas; por ejemplo, los lóbulos frontales deben estar intactos. Pero, analizándolo más profundamente, depende de la prolongada preparación de la niñez humana.

En términos científicos somos neótenos; es decir, provenimos del útero todavía como embriones. Y es quizá debido a esto que nuestra civilización, nuestra civilización científica, adora el símbolo del niño sobre todas las cosas a partir del Renacimiento: el niño Jesús pintado por Rafael y descrito por Pascal; el joven Mozart y Gauss; los niños en Rousseau y en Dickens. No me había percatado de que otras civilizaciones son diferentes hasta que zarpé de California para viajar seis mil kilómetros hacia el sur, hasta la Isla de Pascua. Ahí fui sacudido por la diferencia histórica.

Con alguna frecuencia, algún visionario inventa una nueva utopía: Platón, sir Thomas More, H. G. Wells. Y la tesis consiste siempre en que la imagen heroica ha de perdurar, como afirmaba Hitler, durante un milenio. Mas las imágenes heroicas se presentan siempre crudas, inertes, rostros ancestrales como las estatuas de la Isla de Pascua, pues, ¡incluso se parecen a Mussolini! Esta no es la esencia de la personalidad humana ni en términos biológicos. Biológicamente, un ser humano es cambiante, sensitivo, mutable, capaz de adaptarse a medios muy diversos, y no es estático. La verdadera imagen del ser humano se refleja en la infancia, en el niño errante, la Virgen y el Niño, la Sagrada Familia.

Cuando yo era un chico de quince años, solía caminar los sábados por la tarde desde la zona Este de Londres hasta el Museo Británico, con objeto de ver la única estatua de la Isla de Pascua que por alguna causa no está dentro del museo. Así, pues, soy un admirador de estos antiguos rostros ancestrales. Aunque, mirándolo bien, todas ellas no valen lo que los hoyuelos del rostro de un niño.

Si me he dejado llevar un poco por el entusiasmo al expresar lo anterior, creo poder justificarlo. Consideremos la inversión que la evolución ha realizado en el cerebro de un niño. Mi cerebro pesa kilo y medio, en tanto que mi cuerpo pesa cincuenta veces más que eso. Pero cuando yo nací, mi cuerpo era un mero apéndice de la cabeza; sólo pesaba cinco o seis veces más que mi cerebro. En el devenir de la historia, las civilizaciones han ignorado con crudeza este enorme potencial. En realidad, la infancia más prolongada ha sido la de la civilización, aprendiendo a comprender eso.

A través de casi toda la historia se ha pedido a los menores que adopten la imagen del adulto. Hemos viajado con los baktiaritas de Persia durante su emigración de primavera. Se encuentran tan cercanos a las costumbres nómadas de hace diez mil años como cualquier otro pueblo sobreviviente que esté para extinguirse. Esto se puede observar en cualquier aspecto de su arcaica forma de vida: la imagen del adulto resplandece en los ojos del niño. Las niñas son madres pequeñas en formación. Los niños son pastores en pequeño. Incluso se conducen como lo hacen sus padres.

Ciertamente que la historia no se mantuvo estática entre los nómadas y el Renacimiento. El ascenso del hombre jamás se ha detenido. Mas el ascenso de los jóvenes, el ascenso de los talentosos, el ascenso de los imaginativos se ha detenido prolongadamente en múltiples ocasiones.

Por supuesto que han existido grandes civilizaciones. ¿Quién soy yo para minimizar las

civilizaciones de Egipto, de China, de la India, e incluso de la Europa medieval? Y, sin embargo, todas ellas fallaron en una prueba: restringieron la libertad de imaginación de los jóvenes. Fueron culturas estáticas y minoritarias. Estáticas porque el hijo emulaba los logros del padre y éste los del abuelo. Y minoritarias a causa de que sólo hacían uso real de una diminuta fracción de todo el talento producto del género humano; aprender a leer, aprender a escribir, aprender otro idioma, e iniciar así un lentísimo proceso de avance.



Figura 71. La imagen del adulto resplandece en los ojos del niño. Incluso se conducen como lo hacen sus padres.

Padre uzbeki y su hijo durante la práctica del Buz Casi, en la planicie de Mazar-i-Sharif, Afganistán.

En la Edad Media, el proceso de avance se realizaba a través de la Iglesia; no había otro conducto para un inteligente muchacho pobre. Y al final del proceso aparecía siempre la imagen, el icono con la faz divina que decía, «Te hallas ahora frente al último de los mandamientos: No harás preguntas».

Por ejemplo, cuando Erasmo quedó huérfano en 1480, hubo de prepararse para seguir la carrera eclesiástica. Los servicios eran tan bellos entonces como ahora. Es posible que el propio Erasmo haya participado en la misa móvil *Cum Giubilate* del siglo XIV, la cual yo he escuchado en un templo incluso más antiguo, San Pedro, en Gropina. Mas la vida monástica era para Erasmo una puerta de hierro cerrada al conocimiento. No fue sino hasta que, por cuenta propia, Erasmo leyó a los clásicos, desafiando las órdenes, que el mundo se abrió para él. «Un pagano escribió esto a otro pagano», expresó, «empero contiene justicia, santidad, verdad. Apenas puedo contenerme y exclamar '¡San Sócrates, ruega por mí!'»

Erasmo contó con dos amigos de por vida, sir Thomas More [Santo Tomas Moro] en Inglaterra y Johann Frobenius en Suiza. De More obtuvo lo que yo de recién llegado a Inglaterra, el sentimiento placentero de contar con la compañía de mentes civilizadas. De Frobenius obtuvo el sentido de poder del libro impreso. Frobenius y su familia eran los grandes impresores de los clásicos durante el siglo XVI incluidos los clásicos de la medicina. Su edición de las obras de Hipócrates es, creo uno de los libros más bellos jamás impresos, en que la feliz pasión del impresor se manifiesta en cada página con tanta fuerza como el conocimiento.



Figura 72. La vida monástica era para Erasmo una puerta de hierro cerrada al conocimiento. No fue hasta que, por cuenta propia, Erasmo leyó a los clásicos que el mundo se abrió para él. Desiderio Erasmo, de un retrato de Quentin Metsys, 1530, Galería Nacional, Roma.

¿Cuál es el significado de estos tres hombres y de sus tres libros: las obras de Hipócrates, *La utopía* de More y *El elogio de la locura* de Erasmo? Para mí, significan la democracia del intelecto; y es por ello que Erasmo, Frobenius y sir Thomas More permanecen en mi mente como símbolos gigantescos de su tiempo. La democracia del intelecto se deriva del libro impreso, y los problemas que este planteó desde el año 1500 han persistido hasta las raíces mismas de los disturbios estudiantiles de nuestra época. ¿De qué murió sir Thomas More? Murió porque su rey le considero un manipulador del poder. Y lo que More deseaba ser, lo que Erasmo deseaba ser, lo que todo intelecto poderoso desea ser, es un guardián de la integridad.

Existe un antiguo conflicto entre el liderazgo intelectual y la autoridad civil. Cuán antiguo, cuán amargo se me presentó mientras recorría el camino de Jericó, la senda tomada por Jesús, cuando vio el primer resplandor de Jerusalén en el horizonte conforme se aproximaba a una muerte inminente. A la muerte, porque Jesús era a la sazón el líder intelectual y moral de su pueblo; pero se enfrentaba a los conservadores para quienes la religión era simplemente un arma de gobierno. Y a tal situación se han enfrentado los líderes, una y otra vez: Sócrates en Atenas, Jonathan Swift en Irlanda, desgarrados entre la piedad y la ambición; Mahatma Gandhi en la India; y Albert Einstein, cuando rechazó la presidencia de Israel.

Traigo a colación deliberadamente el nombre de Einstein por que era un científico, y el liderazgo intelectual del siglo XX descansa en los científicos. Y ello acarrea un grave problema, ya que la ciencia constituye también una fuente de poder que marcha cerca del gobierno y que el estado desea domeñar. Pero si la ciencia se deja conducir por ese camino, las creencias del siglo XX caerán hechas trizas en los dominios del cinismo. Hemos de permanecer sin credo, pues no puede construirse en este siglo un credo que no esté fundamentado en la ciencia como el reconocimiento de un don privativo del hombre y como un orgullo de sus dotes y obras. No es la misión de la ciencia la de heredar la Tierra sino la de heredar la imaginación moral; puesto que sin eso, tanto el hombre como sus creencias y la ciencia perecerán a un tiempo.

Debo trasladar esto de manera concreta hacia el presente. Desde mi punto de vista, el hombre que personifica todo lo anterior es John von Neumann. Nacido en 1903, fue vástago de una familia judía establecida en Hungría. De haber nacido un siglo atrás, nunca habiéramos tenido noticias de su existencia. Se habría ocupado de las mismas labores de su padre y de su abuelo; de los comentarios que exponen los rabinos sobre el dogma.

En cambio, fue un niño prodigio de la matemática, «Johnny» [Juanito] por el resto de su vida. Ya en su adolescencia había escrito documentos matemáticos. Realizaría su gran obra sobre los dos temas que le hicieron famoso antes de contar los veinticinco años de edad.

Ambos temas están relacionados – supongo que así debo decirlo – con el juego. Debemos estar conscientes de que, en cierto sentido, toda la ciencia, todo el pensamiento humano, constituyen una forma de juego. El pensamiento abstracto es la neotenia del intelecto, por medio del cual el hombre es capaz de seguir haciéndose cargo de actividades sin meta inmediata (otros animales juegan sólo de jóvenes) con el fin de prepararse para estrategias y planes a largo plazo.

Trabajé con Johnny von Neumann durante la segunda Guerra Mundial, en Inglaterra. La primera vez que me habló acerca de su *Teoría de juegos* ocurrió en un taxi londinense: uno de sus lugares predilectos en que gustaba hablar sobre matemática. Y naturalmente le dije, como entusiasta del ajedrez que soy, «Quieres decir, la teoría de juegos como el ajedrez». «No, no», repuso. «El ajedrez no es un juego. El ajedrez es una forma bien definida de computación. Puede que no te sea posible concebir las respuestas; pero en teoría debe existir una solución, un procedimiento exacto en cada posición. Ahora bien, los juegos verdaderos no son así. La vida real no es así. La vida real consiste en *farolear*, en tácticas pequeñas y astutas, en preguntarse uno mismo qué será lo que el otro hombre piensa que yo entiendo hacer. Y en esto consisten los juegos en mi teoría», Y en esto consiste su libro. Parecía muy extraño encontrar un libro, voluminoso y serio, titulado *Teoría de juegos y comportamiento económico*, en el cual se encuentra un capítulo llamado, «El póker y el faroleo». Qué sorprendente y prohibitivo, empero, hallarlo saturado de ecuaciones de aspecto sumamente pomposo. La matemática no es una actividad pomposa, y lo es mucho menos cuando se encuentra en manos de mentes extraordinariamente rápidas y penetrantes como la de Johnny von Neumann. Lo que se desarrolla en cada página es una línea intelectual tan clara como la de una melodía, y todas las pesadas ecuaciones no son más que la orquestación dedicada a las notas graves.

Durante la etapa final de su vida, John von Neumann trabajó en este tema, que yo defino como su segunda gran idea creativa. Se percataba de la importancia técnica de las computadoras, pero también empezaba a darse cuenta de que debemos comprender con claridad cómo las situaciones de la vida real son diferentes de las situaciones de las computadoras, precisamente porque aquéllas no cuentan con las soluciones exactas del ajedrez o de los cálculos.

Voy a emplear mis propios términos para describir las consecuciones de John von Neumann, en lugar de sus propios términos técnicos. El distinguía entre las tácticas a corto plazo y las grandes estrategias a largo plazo. Las tácticas se pueden calcular con precisión, mas no las estrategias. El éxito matemático y conceptual de Johnny consistió en demostrar que, pese a lo anterior, existen maneras de dar forma a estrategias *superiores*.

Durante sus últimos años escribió un hermoso libro titulado *La computadora y el cerebro*, serie de conferencias Silliman que hubiera deseado pronunciar en 1956, pero que su delicada salud obstaculizó. En esta obra contempla el cerebro como poseedor de un lenguaje en que los distintos componentes de aquél se encuentran interconectados de algún modo, lo cual nos permite concebir un plan, un procedimiento, un sistema de vida completo: lo que en humanidades denominaríamos un sistema de valores.

Había algo admirable y personal acerca de Johnny von Neumann. Ha sido el hombre más inteligente que he conocido, sin excepción alguna. Y era un genio, en el sentido de que un genio es un hombre que tiene *dos* grandes ideas. Su muerte, acaecida en 1957, fue una gran tragedia para todos nosotros. Y no lo fue porque se tratara de un hombre modesto. Cuanto trabajé con él durante la guerra, afrontamos juntos un problema en cierta ocasión, y en el acto me dijo, «Oh no, no, tú no lo estás viendo. La visualización de tu mente no es la adecuada para analizar esto. Piénsalo de manera abstracta. Lo que ocurre en esta fotografía de una explosión es que el primer coeficiente diferencial se desvanece de manera idéntica, y por ello lo que se torna visible es la huella del segundo coeficiente diferencial».

Como él decía, yo no pensaba así. Y sin embargo, le permití irse a Londres. Yo me marché a

mi laboratorio campestre. Trabajé hasta muy entrada la noche. Hacia medianoche ya había hallado la respuesta. Pues bien, John von Neumann dormía siempre hasta muy tarde, así que fui amable y no le desperté hasta bien entradas las diez de la mañana. Una vez que le llamé a su hotel en Londres, respondió el teléfono en cama, y le dije, «Johnny, tienes toda la razón». Y él respondió, «¿Me despiertas tan temprano para decirme que tengo razón? Ten la bondad de esperar hasta que yo esté equivocado». Si esto parece muy banal, no lo fue. Constituye una declaración real de cómo vivía su vida. Y no obstante, esto contiene algo que me recuerda que desperdicié sus últimos años. Nunca finiquitó la gran obra que sería tan difícil de continuar desde su muerte. Y en realidad no lo hizo debido a que se cansó de preguntarse cómo ve las cosas el resto de la gente. Cada vez estaba más involucrado en trabajos para la empresa privada, para la industria, para el gobierno. Estas empresas le colocaron en el centro del poder, pero no le permitieron aumentar sus conocimientos ni intimar con la gente, la cual hasta la fecha no ha captado el mensaje de lo que él intentaba realizar con respecto a la matemática humana de la vida y de la mente.

Johnny von Neumann estaba enamorado de la aristocracia del intelecto. Y ese es un enfoque que sólo puede destruir la civilización que conocemos. Si somos algo, debemos ser una democracia del intelecto. No debemos perecer a consecuencia del distanciamiento entre pueblo y gobierno, entre pueblo y poder, por cuya causa Babilonia, Egipto y Roma se derrumbaron. Y tal distanciamiento podrá ser superado únicamente si se llega a ubicar en los hogares y en las mentes de pueblos carentes de ambición por controlar a otros, y no arriba en los aislados sitios del poder.

Esta parece una lección difícil. Después de todo, habitamos en un mundo regido por especialistas: ¿No es eso lo que entendemos como una sociedad científica? No, no lo es.

Una sociedad científica es aquella en que los especialistas pueden realizar sin obstáculos cosas como el hacer funcionar la luz eléctrica. Mas es usted, y yo, quienes tenemos que saber cómo funciona la *naturaleza*, y cómo (por ejemplo) la electricidad es una de sus expresiones en la luz y en mi cerebro.

No hemos acabado de resolver los problemas humanos de la vida y de la mente que una vez ocuparon a John von Neumann. ¿Será posible encontrar bases idóneas para las formas del comportamiento que anhelamos para un hombre pleno y, por ende, para una sociedad plena? Hemos observado que la conducta humana se caracteriza por una intensa demora interna en la preparación de un acto diferido. El terreno biológico de esta inactividad constituye la frontera entre la larga infancia y la lenta etapa de maduración del hombre. Mas la contención del acto humano va más allá de esto. Nuestros actos como adultos, como tomadores de decisiones, como seres humanos, son regulados por la escala de valores, lo cual interpreto como una estrategia general mediante la cual equilibramos los impulsos opuestos. No es cierto que regimos nuestras vidas a través de cualquier esquema computable de solución de problemas. Los problemas de la vida son insolubles en este contexto. En cambio, moldeamos nuestra conducta al encontrar principios que la guíen. Vislumbramos estrategias éticas o sistemas de valores que aseguren que lo que resulta atractivo a corto plazo sea sopesado en la balanza de lo definitivo: las satisfacciones a largo plazo.

Y aquí nos encontramos auténticamente en el verdadero umbral del conocimiento. El ascenso del hombre se halla siempre tambaleante en la balanza. Siempre existe una sensación de incertidumbre cuando el hombre levanta un pie para dar el siguiente paso, si seguirá siempre marchando hacia adelante. ¿Y qué hay delante de nosotros? Cuando menos la unificación de todo lo que hemos aprendido, en física y en biología, hasta el entendimiento de nuestra consecución: lo que es el hombre.

El conocimiento no constituye un libro de hechos con hojas sueltas. Es, sobre todo, el responsable de la integridad de lo que somos y principalmente de lo que somos como criaturas

éticas. Y no cumple con esta responsabilidad quien deja que los demás guíen el mundo y vive tranquilamente apoyando su vida en reglas morales de tiempos remotos. Esto es realmente crucial en la actualidad. Podemos ver que resulta inútil alentar a la gente para que aprenda ecuaciones diferenciales, o a que tome un curso de electrónica o de programación de computadoras. Y sin embargo, dentro de cincuenta años, si la comprensión del origen del hombre, de su evolución, de su historia, de sus progresos, no resulta un lugar común en los libros escolares, no habremos de existir. El lugar común en los libros escolares del mañana será la aventura del presente, y es a ello a lo que nos dedicamos.

Y me entristece profundamente el encontrarme de improviso en Occidente rodeado de una sensación de intensa pérdida del coraje, de un retroceso del conocimiento hacia... ¿hacia qué? Hacia el budismo zen; hacia la falsificación profunda de cuestiones tales como la de si no seremos realmente animales en el fondo; hacia la percepción extrasensorial y el misterio. Todo ello no se sitúa en la línea de lo que estamos actualmente en posibilidad de saber si nos dedicamos a ello con devoción a la comprensión del hombre como tal. Constituimos el único experimento de la naturaleza con el cual comprobar que la inteligencia racional es más valiosa que la refleja. El conocimiento es nuestro destino. El conocimiento de nosotros mismos, que conjunta por fin la experiencia de las artes y las explicaciones de la ciencia, nos espera en el futuro.

Parece muy pesimista hablar de la civilización occidental con un sentimiento de claudicación. He sido tan optimista con respecto al ascenso del hombre; ¿voy a cambiar de parecer en este momento? Por supuesto que no. El ascenso del hombre seguirá adelante. Mas no estemos ciertos de que seguirá adelante a cargo de la civilización occidental tal y como la conocemos. En este momento, estamos siendo sopesados en la balanza. De claudicar nosotros, el siguiente paso será dado... pero no por nosotros. No contamos con ninguna garantía que no haya sido otorgada a Asiria, Egipto o Roma. Confiamos también en llegar a constituir el pasado de alguien, y no necesariamente de nuestro propio futuro.

Somos una civilización científica: es decir, una civilización para la cual el conocimiento y su integridad son cruciales. Ciencia es únicamente la palabra latina equivalente a conocimiento. De no dar nosotros el paso siguiente en el ascenso del hombre, será dado por gente de cualquier otro lugar, en Africa, en China. ¿Debo considerar esto como algo triste? No, no por sí mismo. La humanidad tiene derecho a cambiar de color. Y no obstante, desposado como estoy con la civilización que me ha nutrido, debería considerarlo como algo infinitamente triste. Yo, producto de Inglaterra, que me enseñara su idioma y su tolerancia y su interés por las proyecciones intelectuales, sentiría una grave sensación de pérdida (al igual que el lector) si dentro de cien años Shakespeare y Newton se convirtieran en fósiles históricos en el ascenso del hombre, del mismo modo que Homero y Euclides lo son en la actualidad.

Inicié esta serie en el valle del Omo del Africa Oriental, y ahora regreso a él debido a que algo acontecido en esa oportunidad ha permanecido en mi mente desde entonces. La mañana del primer día en que íbamos a filmar las escenas para el primer programa de televisión, una avioneta despegó de nuestra pista con el camarógrafo y el ingeniero de sonido a bordo, estrellándose unos segundos después del despegue. Por algún milagro, el piloto y los dos pasajeros resultaron ilesos.

Pero, naturalmente, tan lamentable acontecimiento dejó una profunda impresión en mí. Me disponía a descender el velo del pasado, y el presente calladamente ponía la mano en las páginas impresas de la historia, mientras decía: «Está aquí. Es ahora». La historia no consta de sucesos, consta de gente, y no es sólo gente que hace remembranzas, es gente que actúa y vive el pasado en el presente. La historia es el instante del acto decisivo del piloto, el que cristaliza todo conocimiento, la ciencia toda, todo lo aprendido desde la aparición del hombre.

Hubimos de aguardar durante dos días en el campo, esperando otra avioneta. Y yo dije al camarógrafo, amablemente, aunque quizás no con mucho tacto, que tal vez él preferiría que fuese otra persona quien se encargara de las tomas aéreas. El repuso, «He pensado en eso. Voy

La larga infancia

a tener miedo cuando vuele mañana; pero yo me encargaré de la filmación. Es lo que debo hacer».

Todos tenemos miedo: por nuestra seguridad, por el futuro, por el mundo. Tal es la naturaleza de la imaginación humana. Y, empero, todo hombre, toda civilización, han seguido adelante al sentir que tienen la obligación de hacer lo que es preciso hacer. El compromiso personal del hombre con su destreza, el compromiso intelectual y el compromiso emocional amalgamados en uno solo, han realizado el ascenso del hombre.