

## Reseña

Sueldos millonarios, una adecuada y completa infraestructura, lugar de retiro y paz casi monacal, o lo que es lo mismo, el Instituto de Estudios Avanzados de Princeton. Un «hotel intelectual», el hogar por excelencia de la teoría, el paraíso del pensamiento en el cual sus ilustres miembros debían dedicarse sólo a pensar. Y nada más que a eso. Sin laboratorios, sin experimentos, sin soporte técnico, tan sólo lápiz y papel, tiza y pizarra. Con estas premisas singulares se procedió a partir del momento de su creación, en 1933, al fichaje de auténticos pesos pesados de la ciencia, desde Einstein y Gödel hasta Von Neumann, Podolsky, Rosen, Mandelbrot, Oppenheimer y muchos otros, y con ellos se dio paso a un período de florecimiento de sus diferentes disciplinas, todas ellas en voluntaria y voluntariosa confluencia hacia la apasionante Teoría del Todo, siempre al alcance de la mano y siempre inalcanzable.

En este libro inclasificable y fascinante, Ed Regis pasa revista a la historia del Instituto, también a la de sus logros —convirtiendo en asequibles y amenas las más complejas teorías—, pero, sobre todo, a la de sus hombres y las particulares maneras de ser de éstos. A sus manías que, como en el caso de Gödel, podían llevarlos incluso a la muerte, sus divertidas y sofisticadas bromas, su talla humana, en ocasiones gigantesca y admirable y en otras de un enanismo bochornoso. Pero, además, con su disección del universo cerrado y particular del Instituto de Estudios Avanzados —que durante su existencia ha llegado a contabilizar entre sus miembros a 14

premios Nobel—, Ed Regis, al margen de la historia y de la anécdota, y a veces valiéndose de ella, plantea asimismo un problema humano y filosófico: una realización ideal como el Instituto de Princeton, ¿constituye en realidad el sanctasanctórum de la ciencia y el pensamiento puros, la utopía soñada, el Cielo Platónico o, por el contrario, sus ilimitadas ventajas y su aislamiento del mundo han llegado a convertirlo en un cementerio de elefantes? La respuesta, en el despacho de Einstein.

## Índice

[Prefacio](#)

[Agradecimientos](#)

[Prólogo](#)

1. [El cielo platónico](#)

Parte I. [El sacerdocio del cosmos](#)

2. [El papa de la física](#)

3. [El grande, alto, excelso soberano místico](#)

4. [Contemplad las formas](#)

Parte II. [Herejes](#)

5. [Juanito el vividor](#)

6. [El hombre de nim, nim, nim](#)

Parte III. [Extremos de visión](#)

7. [Burbujas, burbujas, trabajos y líos](#)

8. [Llevando la antorcha](#)

9. [La verdad sobre las cosas](#)

Parte IV. [La vida, el universo y todo lo demás](#)

10. [El equipo lógico de la naturaleza](#)

11. [Más allá de lo invisible](#)

[Epílogo](#)

12. [Criaturas en el reino de los juguetes](#)

[Apéndice](#)

[Fuentes](#)

[Autor](#)

## Prefacio

Entré por primera vez en el Instituto de Estudios Avanzados en el otoño de 1983 para escribir un artículo. Sin embargo, yo ya tenía noticia del Instituto, aunque sólo fuera por su reputación como lugar de trabajo de Einstein y Gödel durante una gran parte de su vida científica.

Como probablemente les ocurre a otras personas que, como yo, se interesan por la ciencia a pesar de ser legos en ella, las fotografías del antiguo despacho de Einstein en el Instituto me habían causado gran impresión en mi juventud. Las había visto en biografías del sabio, así como también en libros sobre la ciencia del siglo XX. Son fotografías famosas, tomadas poco después de su muerte, que tuvo lugar en abril de 1955, y muestran una pizarra cubierta de ecuaciones, una silla vacía vuelta de lado —posiblemente igual que Einstein la dejara cuando se levantó de su mesa de trabajo por última vez— y estanterías llenas de libros colocados de cualquier manera. Más que nada, sin embargo, me impresionó el desorden que reinaba en su mesa: artículos, revistas, manuscritos, un tintero, una caja humedecedora de tabaco..., en una palabra, las emanaciones del trabajo cósmico a medio terminar. ¿Qué secretos no descubiertos del universo yacían escondidos entre todo ese desorden?, me preguntaba yo.

También guardaba en la memoria una fotografía de otro científico, tomada en la biblioteca de matemáticas del Instituto, en la que se veía a un hombre con un mechón de pelo negro cruzándole la

cabellera gris, lo que le daba un vago aire de indio mohawk. La expresión de su rostro reforzaba esta impresión, porque miraba hosco y ceñudo a la cámara fotográfica, como deseando que ella y el fotógrafo se fueran por donde habían venido. Este hombre era Kurt Gödel.

Para mí, Einstein y Gödel eran los genios número uno y número dos de la ciencia contemporánea, y el hecho de que ambos estuvieran en el mismo lugar al mismo tiempo, o sea en Princeton, estado de Nueva Jersey, resultaba bastante misterioso. ¿Cómo podía ser que ambos hubieran ido a parar al Instituto de Estudios Avanzados?, y además, ¿qué era ese Instituto, y qué hacían los grandes cerebros que trabajaban en él? Y, sobre todo, ¿qué había sido del lugar desde la muerte de Einstein y Gödel?

Por mi parte estaba convencido de que el Instituto de Estudios Avanzados tenía que ser un sitio de lo más especial, y la verdad es que en eso no me equivocaba. Prácticamente todas las grandes figuras de la física y las matemáticas del siglo XX han pasado por él en algún momento de sus vidas, y entre ellos hay que contar a catorce premios Nobel, gente como Niels Bohr, P. A. M. Dirac, Wolfgang Pauli, I. I. Rabi, Murray Gell-Mann, C. N. Yang, apodado «Frank», y T. D. Lee.

En 1980 el Instituto publicó un libro titulado *A Community of Scholars*, que es una clasificación de los diversos investigadores que pasaron por él durante los primeros cincuenta años de su existencia. Es un libro grueso, de más de quinientas páginas, y no

resulta nada fácil encontrar un hombre de ciencia del siglo XX cuyo nombre no figure en alguna de ellas.

Por el Instituto han pasado también humanistas, aunque en menor número que científicos, y sus nombres no son tan ilustres, si exceptuamos el de T. S. Eliot. Eliot aparte, el Instituto no ha sufragado estudios de literatura o crítica, dedicándose más concretamente a la ciencia social y la historia, disciplinas cuyo progreso es sutil y esquivo, al menos en comparación con los adelantos científicos que han tenido lugar en estos últimos cincuenta años, o sea, más o menos, el tiempo que hace que se fundó el centro. Los científicos que han pasado por el Instituto de Estudios Avanzados son los mismos que han revolucionado la física y nos han acercado a lo que quizá sea la teoría completa y final de la naturaleza, los que nos llevaron del alba de la mecánica cuántica al borde mismo de la gran unificación: la Teoría del Todo, en el transcurso de una sola vida humana. La historia del Instituto es la historia de sus científicos, y ésta es la historia que vamos a contar en este libro.

Los científicos del Instituto no son, en términos generales, gente modesta. Su objetivo, al fin y al cabo, es el más vasto y arduo que se haya podido imponer jamás grupo alguno de personas. Lo único que quieren es comprenderlo... todo, conocer y explicar la totalidad de la naturaleza. Quieren captar la razón por la que el universo físico sea como es y funcione como funciona. El Instituto existe para honrar la arrogancia mental que necesitan los que tienen la tremenda falta de modestia de pensar que pueden aportar algo a esa tarea, y este libro

es mi intento de retratar la vida y la obra de los pocos que realmente lo han conseguido.

Ed Regis

Eldersburg, Maryland

15 de diciembre de 1986



## Agradecimientos

Mucha gente que está o ha estado vinculada al Instituto de Estudios Avanzados me ha ayudado a preparar este libro, y a todos ellos les estoy agradecido por el tiempo y los esfuerzos que me han dedicado. Partes de mi manuscrito fueron leídas por varios miembros actuales y anteriores del Instituto, así como por otros, y debo expresar aquí mi agradecimiento por correcciones y sugerencias a Stephen Adler, John Bahcall, John Dawson, Rick Dillman, Freeman Dyson, Margaret Geller, Herman Goldstine, Jeremy Goodman, Charles Griswold, Banesh Hoffmann, Douglas Hofstadter, Andrew Lenard, Benoit Mandelbrot, N. David Mermin, John Milnor, Tim Morris, Mark Mueller, Abraham Pais, Harry Rosenzweig, Don Schneider, Dudley Shapere y Stephen Wolfram. Por supuesto, yo soy el único responsable de los errores fácticos o de interpretación que puedan haber quedado en el texto.

Quiero dar las gracias por favores personales y otro tipo de ayuda a Robert Bacher y a su esposa, a Julián Bigelow, a Jack Clark, a Linda Eshleman, a Joan Feast, a Diana Howie, a Priscilla Johnson McMillan, a Robert P. Munafo, a Keith Richwine, a Paul Schuchman, a Linda Sheldon, a Nick Tufillaro, a Caroline Underwood, a Sterling White, a Mary Wisnovsky, y, sobre todo, a Flora Dean, quien, como albacea de Beatrice M. Stern, me facilitó un ejemplar de la historia del Instituto que se menciona en este libro.

Quisiera dar las gracias también a Brock, Ann y Alison Brower por su hospitalidad en Princeton. Debo especial agradecimiento a mi esposa, Pamela Regis, por su ayuda como investigadora y sus consejos en la preparación del texto y del índice.

También, gracias muy especiales a Robert Lavelle, quien como director de adquisiciones de la empresa editorial Addison-Wesley, propuso que el artículo que escribí para *Omni* sobre el Instituto se ampliara a libro, y también debo expresar mi agradecimiento al director editorial William Patrick por su buen sentido y pericia en el arte de sosegar al autor de este libro cuando se dejaba llevar por el nerviosismo.

Como este proyecto nunca habría podido salir a la luz sin la cooperación de los jefes de redacción de *Omni*, es a ellos a quienes he dedicado mi libro, expresándoles así mi agradecimiento por el apoyo que me han prestado a lo largo de estos años.

## Prólogo

### Sección 1

#### El cielo Platónico

Princeton, estado de Nueva Jersey, fue, durante muchos años, una tranquila aldea prerrevolucionaria, conocida más que nada por la batalla de Princeton, en la que Washington y sus hombres dieron lo suyo a los británicos, y también por su universidad. Fundada en 1685 por cuáqueros, que fueron atraídos por las llanuras, los arroyos y los bosques de la comarca, Princeton fue durante seis meses —en 1783, cuando se reunió allí el Segundo Congreso Continental— la capital de los Estados Unidos. Pero antes, en 1756, Princeton ya se había convertido en sede del Colegio Universitario de Nueva Jersey, fundado por presbiterianos en el momento álgido del Gran Despertar, un desbocado renacimiento del calvinismo ortodoxo. Tras una colecta de dinero, el Colegio construyó Nassau Hall —que sería, durante un tiempo, el edificio más grande de las Colonias Norteamericanas— e invitó a Jonathan Edwards, predicador muy amigo de amenazar a sus oyentes con las penas del infierno, a ocupar el puesto de presidente.

Edwards fue el teólogo de Connecticut que a la manera popular, sancionada por el tiempo, del platonismo religioso desde el obispo Berkeley en adelante, enseñó la doctrina del idealismo filosófico, la creencia de que el mundo exterior no es nada más que... *una idea*. «El Mundo, es decir, el Universo material, existe únicamente en la mente», decía, anticipándose en cosa de doscientos años a los

hombres de ciencia de Princeton que, a su vez, iban a reducir el «Universo material» a una red de abstracciones mentales.

Edwards predicó el complicado dogma calvinista según el cual, aun cuando Dios había decidido ya mucho antes del nacimiento de cada cual quién iría al cielo y quién al infierno, era posible elegir, de alguna manera, la que fuese —en este punto concreto Edwards no se aclaraba mucho—, en cuál de ambos sitios se acabaría. Era evidente que Dios había llegado a la decisión de que Edwards no sería presidente del Colegio de Nueva Jersey, porque, poco después de que jurase ese cargo, murió de viruela. Más tarde, en 1896, el nombre del Colegio se cambió por el de Universidad de Princeton. Mucho tiempo después, en 1902, Woodrow Wilson sería elegido presidente, y ésa fue la primera vez que el cargo fue ocupado por un seglar.

En octubre de 1933, prácticamente de la noche a la mañana, Princeton se vio transformada de una ciudad universitaria para caballeros, en un centro mundial de la física. Albert Einstein llegó ese año al Instituto de Estudios Avanzados.

Este Instituto iba a ser una especie nueva de centro de investigaciones. No tendría ni estudiantes, ni profesores, ni clases. Los hombres de ciencia más importantes del mundo se congregarían allí para dedicarse a sus investigaciones, pero sin laboratorios, ni máquinas, ni aparatos de ninguna clase con los que hacer experimentos. Y eso, sin el menor género de dudas, fue completamente deliberado, y tenía sus motivos. Desde el principio se decidió que el Instituto de Estudios Avanzados sería un plantel,

un foco de teoría pura, algo que, indudablemente, Jonathan Edwards habría encontrado de su gusto, porque Edwards no cogió la viruela por contagio, sino por una vacuna antivariólica que había accedido a probar en sí mismo. La vacuna estaba por entonces en su fase experimental, y lo que quería Edwards era demostrar su fe en las maravillas de la ciencia moderna, de modo que se ofreció voluntario a la inoculación, cogió la viruela y murió.

Hoy en día el Instituto de Estudios Avanzados sigue tan dedicado como siempre a la teoría, por más que la falta de un Einstein o de un Gödel entre su profesorado le dé menos importancia de la que tenía entonces. Se levanta en el extremo mismo de la ciudad, pero la realidad es que mucha gente que ha vivido toda su vida en Princeton no sabe dónde está ni cómo se va hasta allí. Si se pregunta en la Universidad, que está a pocas manzanas de distancia, por el Instituto de Estudios Avanzados, pueden contestarnos que no han oído hablar de él en toda la vida. «¿El Instituto de *qué?*». Explican sin vacilar dónde está el Seminario Teológico de Princeton, o el Club de Golf de Springdale, pero no el Instituto. Como suele decir Homer Thompson, miembro de su profesorado desde hace cuarenta años: «El Instituto es más conocido en Europa que en Princeton».

No es justo censurar a la gente por esta ignorancia, porque el Instituto es uno de esos sitios que no es posible identificar con facilidad desde fuera. Edificado en medio de doscientas cincuenta hectáreas de campo abierto y bosque, en la zona llamada Olden Lane, al sur de Princeton, podría tratarse de un campus

universitario o de un colegio preuniversitario, pero nunca se ven estudiantes entrando y saliendo de él, o en torno a él, de modo que a nadie se le ocurre esa posibilidad, y de ese modo piensan que a lo mejor es un sanatorio, un orfanato o un hogar de excombatientes.

El edificio principal, llamado Fuld Hall, es de ladrillo rojo y estilo georgiano, y su aspecto es más o menos como el de los edificios que se encuentran en todos los campus universitarios. Fuld Hall alberga los despachos y dependencias administrativas y de la facultad, la biblioteca matemática y la sala de recreo, donde se sirve té con pastas todos los días laborables a las tres de la tarde. Hay unos cuantos edificios menores a ambos lados de Fuld Hall, todos ellos del mismo estilo universitario, y también con despachos y oficinas. Algo apartado, y a un lado, se ve un complejo de edificios de cristal y cemento que contrasta con el patrón tradicional, y allí se encuentran el comedor, los despachos de ciencias sociales y la biblioteca de estudios históricos del Instituto. Detrás de la biblioteca hay un pequeño lago, y allende el lago comienzan los bosques.

Cuando llegaron al Instituto, allá por los años cuarenta, Freeman Dyson y un grupo de amigos suyos solían circular por los bosques en un viejo Dodge descapotable, que siempre llevaban descubierta. Hoy en día el único tráfico que atraviesa los bosques consiste en paseantes, aficionados al jogging y cazadores de venados. Los venados han llegado a ser tan numerosos que Alien Rowe, uno de los directores adjuntos, reparte un memorándum anual explicando el «Programa de Control de Venados» del Instituto. «Con el fin de reducir el número de venados de los bosques del Instituto a un nivel

razonable y controlable», dice el memorándum, se encargará la tarea de «diezmarlos» a un pequeño grupo de arqueros con experiencia. Cada vez que se distribuye ese memorándum algunos de los miembros más jóvenes del Instituto se preguntan si no sería su deber organizar alguna especie de protesta, pero la verdad es que nunca se llega a ello. Lo único que hacen es abstenerse de ir por los bosques durante unas cuantas semanas. Después de todo no es costumbre que los miembros del Instituto vuelvan de sus paseos por el bosque con la cabeza atravesada por una flecha.

J. Robert Oppenheimer, que fue director del Instituto durante casi veinte años, solía describirlo como «un hotel para intelectuales», un lugar en el que los sabios podían refugiarse y vivir durante todo el tiempo que quisieran sin tener que preocuparse por las necesidades materiales de la vida. La estancia normal es, digamos, de uno o dos años, y, en realidad, de las doscientas personas, más o menos, que suelen alojarse allí, la mayor parte son estudiantes con becas de corta duración. El Instituto se divide en cuatro especialidades: Matemáticas, Ciencias Naturales, Estudios Históricos y Sociología; esta última es la más reducida, con sólo veinte residentes, más o menos, por año.

Para ser admitido en este refinado círculo de amigos hay que pasar por una carrera de baquetas y sobrevivir a ella, es decir, por un proceso de selección que sólo aprueban los más brillantes. Los que tienen esa suerte reciben una asignación de dinero, un despacho y un apartamento en el bloque de viviendas, un racimo de edificios cuyo estilo tiene reminiscencias de la Bauhaus y que fueron

diseñados por el arquitecto Marcel Breuer. Desde el momento de su llegada hasta el de su partida, el Instituto ofrece al residente desayuno y almuerzo cinco días a la semana, y cena los miércoles y viernes por la noche. Sobre esto no hay nunca quejas. A veces, pocas ciertamente, se oyen comentarios sobre el mobiliario. «Las sillas de los apartamentos eran incomodísimas», recuerda uno de los miembros, «aunque la de la mesa de trabajo estaba bien. La verdad es que parecía un complot para forzarle a uno a pasarse todo el tiempo trabajando».

Y también está el problema de las camas. No es que sean incómodas, lo que pasa es que todas ellas son para una sola persona, no hay en todo el Instituto una sola cama doble..., excepto, posiblemente, en Olden Manor, donde viven el director y su mujer. Las parejas jóvenes encuentran esto bastante divertido. «Seguramente compraron todas esas camas en la venta de restos de algún gran incendio», comenta uno de los miembros, «o a lo mejor es que quieren que no nos distraigamos del trabajo».

Dejando aparte la cuestión de las camas, lo cierto es que el Instituto está a la altura de su reputación como paraíso de sabios. Los miembros interinos, y el grupo, mucho menos numeroso, de profesores titulares —hay aproximadamente veinticinco de esta categoría— se dedican a sus proyectos de estudio imponiéndose su propio ritmo de trabajo y sin tener que rendir cuentas o responder de sus actos ante nadie. Y al final de su estancia en el Instituto ni siquiera tienen que preparar un informe explicando lo que han hecho, o si es que han hecho algo. Nada en absoluto. Hacen sus



maletas y se van de este Edén intelectual para hacer frente de nuevo al mundo cruel del que habían llegado.

Como es de esperar de una utopía moderna, los profesores del Instituto, cuyo empleo allí es fijo, reciben todos el mismo sueldo, el equivalente actual de unos noventa mil dólares anuales, lo que induce a mucha gente de fuera a llamarlo «el Instituto de Sueldos Avanzados». El Instituto tiene un presupuesto de operaciones que asciende a más de diez millones de dólares anuales, al cual hace frente con sus propios fondos, que son de bastante más de cien millones, y también con los beneficios de sus inversiones. Éstos varían de año en año, pero últimamente su promedio es de un 17 por ciento anual, más o menos. En el año fiscal de 1984-1985, sin embargo, esos beneficios ascendieron a un 26,9 por ciento anual. A diferencia de otras utopías soñadas por idealistas a lo largo de los siglos, de ésta puede decirse con certidumbre que no tiene miedo al dinero.

El Instituto de Estudios Avanzados fue fundado en 1930 por Louis Bamberger y su hermana, Caroline Bamberger Fuld, que fueron quienes aportaron el dinero, y por Abraham Flexner, que lo planificó y organizó. Pero el verdadero padre del Instituto, su progenitor intelectual y guía espiritual, es el antiguo filósofo griego Platón. Para empezar, fue Platón quien fundó hace mucho tiempo la primera institución de altos estudios que ha visto el mundo: la Academia, situada en las afueras de Atenas. Allí, sabios, investigadores y teóricos de todas clases se congregaban para indagar sobre el plan del mundo, para tratar de comprender el designio universal bajo el

techo de un solo edificio intelectual. Platón realizó el primer esfuerzo a gran escala de poetizar los fenómenos, de reducir todo el universo visible a un pequeño conjunto abstracto de conceptos y principios. El Instituto de Estudios Avanzados parece salido del molde platónico, pero ésta no es más que una pequeña parte de las razones por las cuales Platón es su verdadero padre.

Lo veremos más claro si nos percatamos de que, para Platón, los verdaderos objetos del conocimiento no son las entidades pasajeras y cambiantes que podemos ver y tocar, sino algo completamente distinto, algo que, a su modo de ver, era, en último término, más real: lo que él llamaba las «formas». Platón observó la naturaleza, observó el sol y la luna y las estrellas, observó los saltos de agua, las plantas, los animales, y declaró sumariamente que esos toscos objetos físicos no eran, en absoluto, la Realidad Verdadera. La Realidad Verdadera se encontraba en otra dimensión completamente distinta, una dimensión a la que dio el calificativo de Mundo de las Formas. El Mundo de las Formas es invisible a los sentidos, y, por esa misma razón, se podría caer en la tentación de considerarlo como una sombría, lóbrega tierra de nunca jamás, pero para Platón nunca fue así, pues esa tierra, para él, era brillante y luminosa como el sol del mediodía. El Mundo de las Formas, al fin y al cabo, era el lugar de donde procedían todos los objetos físicos. Era el Origen, la Fuente de todo.

Para Platón, la gran diferencia entre Formas y objetos cotidianos estaba en que, mientras los objetos corrientes son cambiantes y corruptibles, las Formas son perfectas, inalterables y eternas. Como

son inmutables, las Formas son más reales que las cosas «reales», pero, como existen en su propio reino, no es posible verlas o captarlas por medio de los sentidos. Esto, después de todo, resultaría demasiado fácil. Llegar a conocer las Formas es arduo, porque hay que cerrar los ojos, encerrarse en uno mismo y *pensar*. Pero para hacer eso es preciso un gran esfuerzo de introspección, y ésta es la razón de que el individuo medio sepa poco, o nada, sobre las Formas.

Los científicos del Instituto de Estudios Avanzados, no creen en absoluto, al menos de manera literal, en las Formas de Platón, pero sus objetos de estudio están mucho más allá de la experiencia sensorial y solamente pueden captarse por medio del pensamiento. Los matemáticos del Instituto, por ejemplo, casi nunca se dignan dedicar atención a la materia tangible de este mundo; al contrario, estudian objetos matemáticos abstractos e idealizados, entidades que no existen en la naturaleza. Por ejemplo, en ninguna parte del mundo real existe el círculo, aun cuando en ese mundo abunden las cosas cuya forma es, al menos aproximadamente, circular. Para el matemático un círculo geométrico abstracto es mucho más «real» que cualquier objeto circular. La rueda de los coches cambia de forma a cada momento y pierde caucho constantemente, pero el círculo matemático es perfecta y eternamente redondo.

Sin embargo, no son los matemáticos del Instituto los únicos que viven y trabajan entre entidades impalpables, también sus astrónomos y sus físicos lo hacen. Ningún objeto de los existentes en la *terra firma* dura mucho tiempo —incluso las cordilleras se

desgastan sólo con que pasen unos cuantos millones de años—, pero la duración vital de estrellas y galaxias se mide en miles de millones de años. La vida media de las partículas elementales de la naturaleza, como por ejemplo los protones y los electrones, es prácticamente infinita, y ello hace que esas entidades no vistas se parezcan más a las Formas de Platón que a ninguna otra cosa.

Todo ello, a fin de cuentas, es otra forma de decir que los científicos que trabajan en el Instituto de Estudios Avanzados no pisan el fango ni hozan en la porquería de la naturaleza. Los geólogos, los biólogos y los cirujanos que operan a corazón abierto harán mejor en abstenerse, porque tienen las manos sucias y la altiva pandilla de teóricos puros del Instituto no les admitiría en su seno. Los hombres de ciencia del Instituto se congregan en el tejado de la naturaleza para dedicarse a la contemplación de objetos impalpables, existentes en los extremos más lejanos de la creación. No elaboran ningún producto ni hacen experimentos. Su único objetivo en esta vida es, pura y simplemente, *comprender*.

«Yo me dedico a la mecánica celeste», dijo una vez Marston Morse, matemático del Instituto, «pero no tengo el menor interés en ir a la luna».

Para ser un lugar de pretensiones tan etéreas, lo cierto es que el Instituto fue erigido sobre cimientos que no podrían ser más terrenales de lo que son, pues lo sufragan el clic de las cajas registradores y el tintineo argentino de las monedas. El Instituto de Estudios Avanzados debe su existencia a un gran almacén de Nueva Jersey llamado Bamberger's —que en 1929 obtuvo un beneficio de

treinta y cinco millones de dólares— de noventa mil metros cuadrados de espacio comercial, lo que le situaba en el cuarto lugar de los comercios al por mayor del país.

Afortunadamente para el mundo de la ciencia teórica, Louis Bamberger y su hermana, Caroline Bamberger Fuld, los dueños del gran almacén, vendieron el negocio en 1929, justo antes del crac del mercado de valores. Se pusieron de acuerdo con la R. H. Macy Company para transferirles la propiedad del gran almacén a cambio de veinticinco millones de dólares en metálico y acciones de Macy. Bamberger recibió el dinero a comienzos de septiembre, unas seis semanas antes del Jueves Negro. Lo compartió con su hermana y distribuyó un millón de dólares de su propio dinero entre sus antiguos directores.

Este gesto no fue más que el comienzo de un increíble reparto de dinero. Tanto Bamberger como su hermana eran auténticos filántropos, y pensaban que, como su dinero había salido de la buena gente de Nueva Jersey que iba a comprar a diario a su gran almacén, era justo recompensarla por ello; de modo que decidieron dotar alguna gran institución pública de la que todos los habitantes de Nueva Jersey pudieran beneficiarse. Al principio pensaron crear una escuela de medicina u odontología, y proyectaron edificarla en su finca de South Orange, pero lo único que sabían ambos sobre escuelas de medicina era que servían para enseñar medicina. No tardaron en dar con alguien que probablemente sabía más que nadie sobre escuelas de medicina. Ese hombre se llamaba Abraham Flexner.

Flexner era la pesadilla de la educación superior norteamericana. La gran misión de su vida consistía en mejorar el sistema universitario de Estados Unidos, y su principal acto público hasta entonces había sido el «Informe Flexner», una denuncia de la charlatanería y el fraude que reinaban en las facultades de medicina del país. Más tarde, como administrador de una fundación, Flexner pasó a ser el responsable de extraer de los bolsillos de los filántropos norteamericanos hasta seiscientos millones de dólares, dinero que procedió inmediatamente a distribuir entre las escuelas que, a su modo de ver, lo iban a gastar mejor.

En cuestiones de dinero, como en casi todo, Flexner era un hombre de inflexible honradez; había llegado a la cima con grandes esfuerzos, y sabía el valor de los principios tan bien como el de un billete de dólar. Nacido en Louisville, estado de Kentucky, en 1866, Abe Flexner fue el sexto de los nueve hijos de Moritz y Esther Flexner, que habían emigrado a Estados Unidos a mediados del siglo XIX. Moritz comenzó como buhonero, luego se las arregló para hacerse con un negocio de sombreros al por mayor, que cuidó y mimó durante muchos años para verlo desaparecer en el Gran Pánico de 1873.

Por aquellos días la educación en los estados del sur oscilaba entre insuficiente e inexistente, y el joven Abe entró en una escuela primaria tan atrasada como era de temer. Casi nunca tenía deberes que llevar a casa, de modo que lo que hacía era irse a la biblioteca pública a leer libros por su cuenta. No se sabe cómo, fue a dar con los clásicos: Dickens, Shakespeare, Thoreau, Hawthorne. Luego, ya

muchacho, se colocó en una biblioteca particular, lo que le dejaba tiempo libre abundante para leer y escuchar a un pequeño grupo que celebraba debates una vez a la semana en la biblioteca sobre temas del momento. Hasta entonces Abe Flexner era autodidacta. Pero la cosa no tardó en cambiar, porque pudo ir a la Universidad Johns Hopkins.

«El momento clave de mi vida», diría luego Flexner, «fue en 1884, cuando, a los diecisiete años, mi hermano mayor, Jacob, me envió a la Universidad Johns Hopkins, porque de esa decisión iba a depender toda mi carrera».

La Universidad Johns Hopkins acababa de abrirse, y Abe fue testigo de su evolución desde que fuera dos pensiones adaptadas a usos docentes en la calle Howard de Baltimore, hasta su traslado a un gran campus que era como un parque situado en el centro mismo de la ciudad. Hopkins fue el modelo en que luego Flexner iba a basar el Instituto de Estudios Avanzados.

La Universidad Johns Hopkins recibió este nombre por el rico comerciante de Baltimore que, al morir, en 1873, dejó prácticamente toda su fortuna, siete millones de dólares —por cierto, en aquel momento, el legado más cuantioso de la historia de Estados Unidos—, para la fundación de una institución que sería mitad universidad y mitad hospital. Las entonces existentes: Harvard, Yale, Columbia y otras, ofrecían una educación en el mejor de los casos pasable que no se parecía en nada a los programas docentes avanzados de nuestros días. Así pues, cuando se inauguró

Hopkins en 1876, fue la primera escuela de graduados que se veía en Estados Unidos en el sentido contemporáneo de esta expresión.

En la mente de Flexner, Johns Hopkins era la encarnación de todo cuanto hay de bueno, justo y auténtico en el campo de la educación superior, y el primer presidente de la universidad, Daniel Coit Gilman, era su ídolo. Para abrir su universidad, Gilman había oteado Europa entera en busca de profesores de primera categoría, pero no solamente buscó típicos maestros de clase, de esos de tiza y borrador, sino también mentes creadoras, buenos investigadores. «Él sabía que hay hombres que como mejor enseñan es no enseñando en absoluto», decía Flexner de Gilman. *Enseñar mejor no enseñando en absoluto*. La idea era que los verdaderos genios, gente como Darwin, Faraday, Rayleigh, y otros del mismo calibre, han dejado su huella en el mundo precisamente porque no tuvieron que gastar su precioso tiempo en cosas como preparar y dar lecciones. Flexner tuvo siempre presente esta idea.

Cuando Flexner se graduó en Hopkins volvió a Kentucky a enseñar, terminando como profesor en la misma escuela secundaria donde había empezado pocos años antes como alumno. Sólo había pasado dos años en Hopkins, de forma que, cuando volvió a su antigua escuela secundaria, encontró que tenía que enseñar a algunos de los mismos muchachos que antes habían sido condiscípulos suyos. Al final del primer curso Flexner suspendió a una clase entera: once estudiantes. Este hecho no tenía precedentes, dejó atónitos a los padres de Louisville y salió en la prensa local. Los padres exigieron que sus preciosos niños aprobaran inmediatamente y pidieron una



vista pública del caso ante la junta de educación. La junta se reunió, escuchó los alegatos y dio, sin más, la razón a Flexner, cuya reputación de educador serio y decidido a defender sus normas contra viento y marea quedó confirmada.

A partir de entonces, los que querían que sus hijos aprendiesen más que lo que se enseñaba en las escuelas locales comenzaron a enviarlos a Flexner. Un abogado cuyo hijo había sido expulsado de la escuela preuniversitaria pidió a Flexner que preparase al niño para que entrara en Princeton. Flexner aceptó, pero solamente a condición de que el abogado le procurase otros cuatro estudiantes a quienes preparar por el mismo dinero, que ascendía a quinientos dólares al año. El abogado lo hizo así, y entonces Flexner renunció a su puesto de la escuela secundaria y fundó un pequeño colegio preuniversitario propio.

«El colegio del señor Flexner», lo llamaba la gente, y su éxito fue extraordinario. Flexner aceptaba a cualquier estudiante, por torpe o recalcitrante que fuese, prometiendo siempre a sus padres que le metería en vereda y acabaría entrando en Princeton, Harvard o donde fuese. Y lo sorprendente del caso era que lo hacía así, y sin amenazas, sin fuerza, sin presiones. «Yo ya sabía desde hacía mucho tiempo que la violencia no conduce a nada», diría Flexner más tarde, «mi colegio no tenía reglas ni exámenes ni registros ni notas».

De una manera muy parecida a como les ocurriría más tarde a los miembros del Instituto de Estudios Avanzados, los estudiantes del colegio del señor Flexner no tenían responsabilidades. «Aquí no hay

deberes, sólo hay oportunidades» era el lema de Flexner. Sus estudiantes podían asistir a clase o no asistir; entraban en clase cuando les apetecía y estudiaban mucho o poco, como les viniera en gana. Al mismo Flexner debió sorprenderle el ver que sus alumnos comenzaron a ir a clase también los sábados, con el fin de trabajar un poco más. Y esto no cabía achacarlo a ningún milagro: Flexner lo había conseguido con la sola fuerza de su personalidad y su auténtico entusiasmo por la instrucción.

El colegio preuniversitario local de Flexner duró quince años, de 1890 a 1905, que fue cuando el profesor decidió volver a estudiar. Se matriculó en Harvard para graduarse en psicología, pero llegó a la conclusión de que el trabajo experimental que tenía que realizar era tan aburrido que no podía seguir adelante, de modo que renunció y volvió a someterse a un programa de autoeducación. Pero esta vez no concentró su atención en una pesada y limitada disciplina académica, como psicología experimental, sino que decidió estudiar la institución norteamericana de enseñanza superior en su conjunto, y el resultado de esta decisión fue una cáustica crítica del sistema entero en forma de un libro titulado *The American College*.

En ese libro Flexner aseguraba que las universidades sólo servían para sofocar la capacidad misma que debían desarrollar, que era la iniciativa individual del alumno. Se quejaba de que las universidades daban más importancia a la investigación especializada que a la buena enseñanza, y que, en muchos casos, el plan de estudios del estudiante universitario carecía por completo

de sentido. Naturalmente, no fueron muchos los educadores dispuestos a escuchar este mensaje, pero algunos lo hicieron. Uno de éstos fue la Fundación Carnegie para la Promoción de la Enseñanza, que encargó a Flexner un estudio especial de las escuelas de medicina.

A la vuelta del siglo los «colegios» médicos norteamericanos funcionaban, en términos generales, de la misma manera que funcionan hoy las escuelas de modelos, de reparación de ordenadores o de remolques de tractor de dos ruedas. Quiero decir que cobraban el dinero, daban una o dos clases y terminaban entregando al estudiante un enorme diploma con su nombre escrito en grandísimas letras góticas. Estas escuelas médicas, que sólo lo eran en apariencia, surgían por todas partes, como la mala hierba. Sólo en el estado de Missouri había cuarenta y dos, y catorce en la ciudad de Chicago. Las clases, por supuesto, eran discrecionales. El estudiante pagaba el curso y un año después era doctor: sin líos ni complicaciones.

Flexner siguió un curso intensivo de educación médica, asistiendo a la Facultad de Medicina de su amada Universidad Johns Hopkins, y también al Instituto Rockefeller de Investigación Médica de la ciudad de Nueva York, donde su hermano, Simón Flexner, era director de laboratorios. Sirviéndose de sus programas a modo de modelo de lo que debiera ser la educación médica, Flexner se lanzó a una gira por las instituciones médicas del país entero. Y para descubrir la verdad se sirvió con frecuencia de ardides.

«En cierta ocasión», escribe, «fui por la mañana a visitar una escuela de osteopatía en Des Moines en compañía de su director, y pude comprobar que todas las puertas estaban cerradas, aun cuando cada una de ellas tenía su letrero: ANATOMÍA, FISIOLOGÍA, PATOLOGÍA, etc. No fue posible dar con el portero, y esto quizás no fuera precisamente una casualidad. Expresé mi satisfacción y me acompañaron en coche a la estación, donde me despedí, o eso pensó el director, para coger el primer tren que me llevara a la ciudad de Iowa, pero lo que hice fue esperar a que el director se perdiera de vista, y entonces volví a la escuela, encontré al portero, le di cinco dólares, y él, a cambio, me abrió todas las puertas. Todas las clases tenían el mismo equipamiento: una mesa, una pequeña pizarra y sillas; allí no había ni diagramas, ni aparatos de ninguna clase, ni nada».

Flexner inspeccionó personalmente todas y cada una de las ciento cincuenta y cinco escuelas médicas de Estados Unidos y Canadá, y descubrió que solamente media docena de ellas tenían niveles aceptables de admisión, enseñanza y graduación. Flexner dedica frases sarcásticas a los demás: «Llamar escuela a esto es lo más vergonzoso que cabe imaginar», dice del Colegio de Georgia de Medicina y Cirugía Eclécticas. Y, de la misma manera, el Colegio Médico de California le parece «una vergüenza para el estado cuyas leyes permiten su existencia».

Flexner presentó su informe, que se publicó en primer lugar como *Boletín Número Cuatro* de la Fundación Carnegie para la Promoción de la Enseñanza, pero, con el tiempo, pasó a ser conocido como el

«Informe Flexner». Este libro causó más sensación todavía que *The American College*, proporcionando a su autor no solamente una serie de procesos por difamación, sino también una amenaza contra su vida. Una carta anónima llegada de Chicago —«el lugar más pestilente del país por lo que se refiere a la educación médica», había dicho Flexner de esta ciudad— le advertía que sería muerto a tiros si se le ocurría volver a aparecer por sus calles. «En vista de lo cual», dijo más tarde Flexner, «fui allí a pronunciar un discurso en una asamblea convocada por el Consejo de Educación Médica, y volví a mi casa sano y salvo».

Pero Flexner había ganado la batalla. Los pseudocentros de educación médica desaparecieron, y en muchos casos sin chistar siquiera. Los catorce de Chicago quedaron reducidos a tres. En los círculos docentes norteamericanos Flexner se hizo famoso, se le consideraba el salvador de la medicina norteamericana, y pronto tuvo que lanzarse a hacer el mismo estudio sobre el terreno en Europa, a donde le envió también la Fundación Carnegie. Al finalizar estas actividades, Abraham Flexner se había convertido en el experto mundial número uno en educación médica.

En el otoño de 1929, Louis Bamberger y su hermana Caroline, casada con Félix Fuld, habían concebido el proyecto de crear una escuela médica en Nueva Jersey. Al mismo tiempo, Abraham Flexner estaba escribiendo un nuevo libro: *Universities: American, English, German*, basado en una serie de conferencias que había dado en Oxford. «Estaba un día trabajando tranquilamente», rememoraría más tarde Flexner, «cuando sonó el teléfono y se me

pidió que recibiera a dos caballeros que querían hablar conmigo sobre el destino que se podría dar a una importante cantidad de dinero». Los dos caballeros en cuestión eran Samuel Leidesdorf y Herbert Maass, en representación de Louis Bamberger y de la señora de Félix Fuld, que necesitaban su ayuda para un proyecto de escuela de medicina en Newark. Esa escuela daría preferencia a los judíos, porque tanto Bamberger como la señora Fuld, que eran judíos, estaban convencidos de que los centros médicos existentes discriminaban a los judíos no sólo por lo que se refería al personal docente, sino también en la admisión de estudiantes.

Pero Flexner, que también era judío, no estaba dispuesto a aceptar una cosa así. Para empezar, dijo, una escuela médica ha de formar parte de una universidad importante, como también de un buen hospital, y en Newark no había ni una cosa ni otra. Además, Newark estaba justo al otro lado del río según se sale de la ciudad de Nueva York, donde había excelentes escuelas con las que no cabía la menor esperanza de competir. Y, finalmente, Flexner estaba convencido, sobre la base de su vasta experiencia personal, de que las escuelas médicas no discriminaban realmente a los judíos. Esto además de que él, personalmente, no podía formar parte de una institución que no impusiese los criterios profesionales más altos en la selección de los estudiantes y el personal.

Por otra parte, aquellos dos hombres representaban una fortuna de alrededor de treinta millones de dólares, y Flexner no quería echarles de allí con las manos vacías, de modo que les propuso otra idea: «¿Han tenido ustedes alguna vez un sueño?», les preguntó.

Flexner, sin duda alguna, tenía uno, y lo tenía allí mismo, anotado en el manuscrito de su nuevo libro, cuyo primer capítulo estaba sobre su mesa en aquel preciso momento.

Pero, en contra de lo que habría cabido esperar, Flexner no soñaba con un instituto de investigación. Por principio se oponía a los institutos de investigación pura y hacía algún tiempo que pensaba así. Concretamente en noviembre de 1922 había explicado las razones de su oposición en un informe preparado para la Junta de Educación General, que era una fundación docente de los Rockefeller. El informe se titulaba «A Proposal to Establish an American University», y Flexner afirmaba en él que «las instituciones de investigación, por muy valiosas y necesarias que sean, no pueden remediar por sí solas la dificultad [en que se encuentran las escuelas de graduados]: primero, porque son relativamente pocos los que se sienten contentos y trabajan con eficacia cuando todas sus energías han de concentrarse en la investigación exclusivamente; y, segundo, porque es necesariamente limitado el número de jóvenes que pueden ser preparados en instituciones de investigación... Las instituciones de investigación no pueden... ocupar el lugar de las universidades donde los jóvenes reciben enseñanza superior».

Sin embargo, Flexner no estaba contento del todo con las escuelas de graduados tales y como eran entonces. O bien ocurría que los estudiantes salían de ellas insuficientemente preparados porque los profesores se pasaban todo el tiempo investigando, o bien, si salían bien preparados, era solamente debido a una vocación práctica

concreta, como, por ejemplo, el derecho o la medicina. En ningún caso, al menos en la medida en que Flexner había estudiado el problema, cooperaban mutuamente los estudiantes y el personal docente de las facultades en la formación de una verdadera «sociedad de estudios», expresión que para él significaba un grupo cuyo objetivo fuera, pura y simplemente, la ampliación de las fronteras del conocimiento, la exploración de lo desconocido. Éste era, concreta y exactamente, el sueño de Flexner. Él soñaba con una universidad híbrida —o un instituto de algún tipo, daba igual la etiqueta que se le pusiera— en la que profesorado y estudiantes penetrasen *juntos* en territorio virgen, posiblemente no en plan de igualdad, pero por lo menos como asociados. Lo que hacía falta para conseguir esto, pensaba él, era el máximo de libertad de toda presión externa.

«Debiera ser una sociedad libre, de sabios», escribió, «libre, porque las personas maduras animadas por objetivos intelectuales han de tener libertad para lanzarse a la búsqueda de sus propios objetivos a su manera». La institución les facilitaría un ambiente sencillo, «pero, sobre todo, tranquilidad, ausencia total de cualquier distracción mundana o paterna, como en el caso de un alumnado inmaduro».

Flexner escribía todo esto en el libro que estaba preparando en aquel momento, y entregó a sus visitantes, Leidesdorf y Maass, una copia del primer capítulo, que se titulaba: «The Idea of a Modern University». Se lo llevaron a Bamberger y a la señora Fuld, los



cuales, después de leerlo, dejaron de pensar en fundar una escuela médica.

Durante la temporada de conciertos del año, Bamberger y Fuld reservaron una suite en el Hotel Madison de Nueva York, y una noche invitaron allí a cenar a Flexner. Durante las semanas siguientes los tres almorzaron juntos frecuentemente, y hacia mediados de enero, justo antes de que los dos hermanos partieran para sus vacaciones de invierno en Arizona, Flexner preparó unos documentos de trabajo en los que exponía sus ideas sobre la mejor forma de utilizar su fortuna. Estos documentos concretaban «la dotación de una institución de enseñanza superior situada en la ciudad de Newark, o cerca de ella, que recibiría el nombre del estado de Nueva Jersey en reconocimiento de las oportunidades que esa comunidad nos ha ofrecido». Cuando Bamberger y la señora Fuld partieron en dirección al soleado sudoeste, los tres estaban de acuerdo en fundar pronto la universidad con que Flexner soñaba.

Cuando los dos hermanos volvieron de Arizona en abril, lo único que había cambiado respecto al plan original era el nombre del centro. Ahora iba a ser «un Instituto de Enseñanza Superior» o de «Estudios Avanzados». No tendría estudiantes universitarios; sus profesores estarían bien pagados; y, sobre todo, tanto estudiantes como profesorado se dedicarían a indagaciones nuevas y fundamentales.

El Instituto fue creado oficialmente el 20 de mayo de 1930 con el nombre de Instituto de Estudios Avanzados, y abrió sus puertas tres años más tarde. En este intervalo hubo que resolver dos

problemas. Uno, el lugar. Bamberger seguía siendo partidario de ponerlo en South Orange, pero, en caso de no ser posible, insistía en que estuviera situado «en las cercanías de Newark». Lo malo de Newark era que, sin duda, se trataba de un excelente emplazamiento para un negocio de lencería y novedades, pero no se adaptaba en absoluto a las necesidades de una institución de estudios superiores. Flexner pensaba que en Newark no había nada capaz de atraer a gente del mundo académico: era una ciudad sin universidad, sin grandes bibliotecas, museos, colecciones. Más que ninguna otra cosa, lo que tenía era gran número de fábricas de pinturas y barnices. Flexner había escrito a unos cuarenta educadores de todo el país pidiéndoles consejo sobre el mejor sitio para instalar el Instituto; le mandaron una lista de ciudades que él mismo habría propuesto: Nueva York, Cambridge, Chicago, Filadelfia, y otras por el estilo. A ninguno de ellos se le ocurrió mencionar Newark.

La sugerencia más imaginativa de las que recibió Flexner procedía de Solomon Lefschetz, matemático de la Universidad de Princeton. Comprendiendo que Bamberger lo que en realidad quería era instalar el Instituto *en algún lugar* de Nueva Jersey, Lefschetz aducía que, por pura fuerza de lógica, el Instituto podría ser instalado en Washington, D. C. Su idea era que, como la capital de la nación pertenecía a los cuarenta y ocho estados de la unión por igual, podía ser considerada, por extensión, como parte de uno de ellos: Nueva Jersey. Este tipo de lógica desesperada llegó a contagiar al mismo Flexner, que comenzó a pensar que la frase «en las

cercanías de Newark» podía referirse, estirándola un poco, a la parte norte, y quizá hasta a la parte central del estado.

En cualquier caso, Flexner ya tenía decidido desde hacía tiempo que el Instituto estaría emplazado en Princeton, situación que le parecía ideal. Princeton estaba alejado de las presiones y las distracciones de la gran ciudad, y, al mismo tiempo, a relativamente poca distancia de Nueva York, Filadelfia y Washington. Su universidad poseía ya una de las grandes facultades de matemáticas del mundo, y además una buena biblioteca, a la que tendrían acceso los miembros del Instituto. Flexner fingía todavía estar buscando un emplazamiento adecuado cerca de Newark, pero ya se había puesto en contacto con un agente inmobiliario de Princeton.

El otro problema era el personal docente. El Instituto se lo jugaba todo a una carta, pensaba Flexner, y esa carta era el personal docente con que contara en el momento de abrir sus puertas. Por este motivo quería la mejor gente que se pudiera encontrar dondequiera que fuese. Pero jamás habría podido imaginar, ni siquiera en sus momentos de mayor optimismo, que el primer profesor de su Instituto iba a ser la luz más radiante del firmamento: nada menos que Albert Einstein.

## Parte I

### El sacerdocio del cosmos

#### Sección 2

#### El papa de la física

—De modo que está escribiendo usted un libro sobre el Instituto... Bueno, pues entonces a lo mejor me puede aclarar una cosa —me dijo Rob Tubbs.

Rob es uno de los miembros adventicios del Instituto, un joven matemático, especializado en teoría de números trascendentes. Salimos de su despacho después de una larga entrevista, y al salir él cerró la puerta e hizo girar la llave.

—Muchos de nosotros hemos oído rumores sobre el despacho de Einstein, por lo visto lo mantuvieron como lo había dejado él al morir, sin tocar lo que se dice nada. Bueno..., ¿es verdad eso?

Y, la verdad, ¿por qué no preguntarlo? Al fin y al cabo esto es lo que todo el mundo da por supuesto cuando entra en el Instituto. Aquí es donde estuvo Einstein durante más de veinte años... *Einstein*, el más grande hombre de ciencia de la historia... *Einstein*, el único hombre de ciencia cuyo nombre se le ocurre inmediatamente a todo el mundo. ¿Por qué motivo no iban a conservar su despacho tal y como él lo dejó?...; después de todo, es lo mismo que hicieron con su cerebro, que ahora flota en un tarro lleno de formaldehído en el despacho de cierto médico llamado Thomas Harvey, en Weston, estado de Missouri. Sin duda alguna han cerrado el despacho de

Einstein, a lo mejor hasta lo han sellado para siempre, como una cápsula temporal, porque, de otra forma, sería... una profanación, un sacrilegio. ¿Qué otra persona podría trabajar allí? ¿Quién osaría ocupar su lugar? ¿Quién se sentaría en ese mismo despacho día tras día, año tras año, sabiendo que fue *allí donde Albert Einstein se ocupaba de sus cosas*?

—Bueno, pero ¿dónde está su despacho? —pregunta Rob Tubbs.

Albert Einstein ya era una figura mundialmente venerada mucho tiempo antes de que llegase al Instituto de Estudios Avanzados. Cuando, en 1919, los astrónomos confirmaron su predicción de que la gravedad del sol doblaba los rayos de luz, la gente se volvió loca. Se dio su nombre a niños y a puros. El London Palladium le pidió que se asomara a su escenario durante tres semanas, fijándose él mismo el sueldo. Dos profesores alemanes hicieron una «película de relatividad» que se proyectó a ambos lados del Atlántico. Cuando Einstein entró en la casa de J. B. S. Haldane, donde iba a pasar la noche, la hija de Haldane echó una ojeada al invitado y se desmayó inmediatamente. La prensa saludaba las teorías de Einstein como las proezas más grandes de la historia del pensamiento humano, y a Einstein mismo como al hombre más grande de la historia.

Einstein era, después de todo, el mensajero del nuevo orden. La luz tiene peso, el espacio está combado, el universo tiene cuatro dimensiones. A la gente todo esto le encantaba. Nadie tenía la menor idea de lo que pudiera querer decir, por supuesto, pero no importaba. Bastaba con que lo entendiese Einstein. Él era el hombre que lo había inventado, él sí que lo entendía. Einstein se

convirtió en el héroe de la gente, en el nuevo mesías, en el Primer Conocedor y Cabeza Suprema del Vasto Universo Físico.

Einstein era reverenciado como se reverencia a un dios, pero el hombre que llevaba este nombre era la esencia misma de la modestia y la amabilidad, y nunca llegó a comprender por qué la gente se alteraba tanto. Él, por su parte, trataba a todo el mundo democráticamente, de igual a igual: «Yo hablo de la misma manera con todo el mundo», solía decir, «ya puede ser el basurero o el rector de la universidad». Claro está que si uno se lo proponía de verdad podía encontrar alguna que otra excepción a esta regla, como, por ejemplo, la vez que Einstein envió un artículo a la *Physical Review*, y el director tuvo la osadía de hacerlo revisar. ¡En fin! El pobre director no había hecho más que cumplir con su deber: enviar el artículo de Einstein, como los de todos los demás, a especialistas para que lo juzgasen. Pero esto Albert Einstein no lo aceptaba, y nunca más volvió a enviar artículos a esa publicación. ¿Qué prueba esto, sin embargo? Únicamente que el físico más grande que vieron los siglos tenía, al fin y al cabo, un ego. Y todas las llamadas *prima donnas* de la ciencia que viven en el Instituto, tienen, sin duda, un ego sano y bien desarrollado.

En el mundo de la gente corriente Einstein era, sin duda, el genio humilde que nunca usaba calcetines (por lo menos zapatos sí llevaba), pero en las alturas del cielo platónico la cosa cambiaba. Su *hubris* era absolutamente increíble. Estaba convencido de que podría llegar a comprender el plan del universo entero, en su totalidad, desde la mayor de las galaxias hasta el más pequeño de

los cuarks. Pensaba que podría comprenderlo todo, que podría encontrar un simple juego de principios a modo de *bóveda* capaz de cubrirlo *todo* con una teoría unificada de campos. Y ¿cómo hacer esto, sino con teorías, dentro de la mejor tradición platónica? Mientras la gente de los ciclotrones seguía machacando átomos hasta el día del juicio, mientras los astrónomos apuntaban sus telescopios gigantes a través de miles de millones de fríos años luz, Einstein se encerraría en una habitación, bajaría las persianas y, como él mismo solía decir, «me pondré a pensar un poco». Pergeñaría unas cuantas ecuaciones, haría unas pocas anotaciones mentales, y helo aquí, en un santiamén, todo aclarado. Y sólo pensando..., nada de máquinas o instrumentos.

Alguien preguntó en una ocasión al gran físico dónde tenía su laboratorio. Einstein sonrió y se sacó una pluma estilográfica del bolsillo delantero de la chaqueta: «Aquí», dijo.

En el invierno de 1932 Abraham Flexner andaba por California en busca de personal docente para su Instituto. Un profesor del Instituto de Tecnología de California, llamado Morgan, aconsejó a Flexner visitar a Einstein, que casualmente estaba viviendo entonces allí. A Einstein le gustó la idea del Instituto de Flexner desde el primer momento. En Alemania, donde Einstein era profesor en la Universidad de Berlín, las cosas iban de mal en peor. En 1920 se había fundado un Club Anti-Einstein. Sus miembros, que se llamaban a sí mismos «Grupo de Estudios de Filósofos Naturales Alemanes», ofrecían dinero a quien hablase en contra de «la física judía», y sobre todo del asunto aquel de la «relatividad». El 24 de

agosto de 1920 la «Compañía Anti-Teoría de la Relatividad, S.A.», como Einstein la llamaba, patrocinó un mitin en el Auditorio Filarmónico de Berlín al que asistió Einstein. No pudo evitar reírse de lo absurdos que eran los ataques.

Sin embargo esos físicos arios eran de lo más serio, y Einstein tuvo que soportar sus atenciones durante diez años. En 1931 —el año en que la «Compañía Antirrelatividad» publicó un libro titulado *100 Authors Against Einstein*— él ya había decidido abandonar Alemania para siempre, y ésta es la razón de que escuchara con tanta atención a Abraham Flexner mientras paseaba con él por los pasillos del club de profesores del Instituto de Tecnología de California, hablando del nuevo centro de investigación que se iba a crear en Princeton. Einstein dijo a Flexner que quería volver a verle, y ambos convinieron en encontrarse durante las vacaciones de primavera de 1932, cuando coincidiesen en Oxford, Inglaterra.

Era una bella mañana de sábado del mes de mayo. El cielo estaba claro y los pájaros cantaban. Flexner y Einstein iban y venían, paseando por el césped de Christ Church, como dos rectores universitarios, cuando, de pronto, Flexner le hizo una proposición: —Profesor Einstein —dijo—, no es que yo tenga la osadía de ofrecerle a usted un puesto en este nuevo instituto, pero si lo piensa y llega a la conclusión de que podría darle las facilidades que requiere, le aceptaríamos entre nosotros dictando usted mismo las condiciones.

Einstein se sintió tentado, pero no quería precipitarse. Universidades del mundo entero, entre ellas las de Jerusalén,



Madrid, París, Leiden y Oxford, le agobiaban con toda clase de ofertas de cátedras y puestos honoríficos, lo que él quisiera, ni más ni menos, con tal que aceptara honrar sus sedes con su presencia. Ya había rechazado una oferta de Princeton en 1927, pero ahora las circunstancias eran distintas, quizás hubiera llegado el momento de trasladarse a Norteamérica.

—¿Estará usted en Alemania este verano? —preguntó Einstein...

Al mes siguiente Flexner se encontraba en Caputh, Alemania, bajo una llovizna fría, camino de la casa de campo de Einstein. Llegó a las tres de la tarde y se quedó hasta las once de la noche. Y esta vez consiguió la respuesta que quería: *Ich bin Feuer und Flamme dafür* («Soy fuego y llama a favor», o sea: Me entusiasma la idea). Era el 4 de junio de 1932, y Albert Einstein era el primer profesor del Instituto. De pronto los sueños de Flexner sobre su Instituto adquirían dimensión y color nuevos, era como si el mismo Dios hubiera decidido fijar su residencia en la nueva casa de Flexner en Princeton.

Evidentemente, todavía quedaban unos cuantos problemas por resolver: el sueldo de Einstein, y la cuestión de su compañero, Walther Mayer. Einstein quería tres mil dólares anuales. «¿Podría vivir con menos?», preguntó a Flexner, que le respondió: «No podrá vivir con eso».

Flexner fijó el sueldo de Einstein en diez mil dólares, lo que al físico le pareció bien, pero la cuestión de Walther Mayer era harina de otro costal. En circunstancias normales Einstein evitaba colaborar con otra gente —«Yo soy caballo de un solo arnés», solía decir—,

pero lo cierto era que había escrito algunos artículos con Mayer, un matemático austríaco, y los dos tenían esperanzas de formular conjuntamente una teoría unificada de campo. Además, a Einstein le resultaba práctico tener un ayudante a quien encargar sus cálculos más rutinarios mientras él se absorbía en trabajos teóricos abstractos y creativos. Por todas esas razones consideraba a Mayer indispensable.

Flexner accedió a aceptar a Mayer en el Instituto, pero no a darle un puesto especial: sería sencillamente el ayudante de Einstein. Después de todo, Mayer no era el tipo de persona que necesitaba el Instituto. Había escrito un libro sobre geometría no euclidiana, pero ésta era su única proeza, y, desde luego, nombrarle profesor no acrecentaría el prestigio del Instituto, por útil que pudiera serle personalmente a Einstein. Einstein, sin embargo, insistía, y en la primavera de 1933 escribió a Flexner que no aceptaría el trato a menos que el Instituto diese también un puesto a Mayer. «Lamentaría muchísimo», aseguraba Einstein, «verme privado de su valiosa colaboración; y no tenerle en el Instituto podría incluso dificultar mi propio trabajo». Finalmente, Flexner tuvo que ceder y reservar un puesto especial para Walther Mayer.

El 17 de octubre de 1933 llegaron al puerto de Nueva York Albert Einstein, su esposa, Elsa, su secretaria, Helen Dukas, y su colaborador-ayudante Walther Mayer, a bordo del vapor *Westmoreland*. «Es un acontecimiento tan importante como podría ser la mudanza del Vaticano de Roma al Nuevo Mundo», dijo Paul Langevin, amigo de Einstein. «El papa de la física se ha mudado de

casa, y ahora Estados Unidos se ha convertido en el centro mundial de las ciencias naturales».

Los Einstein desembarcaron en Quarantine Island, donde les recibieron los administradores del Instituto, Edgar Bamberger y Herbert Maass, que dieron al profesor una carta de bienvenida de Flexner. El director había decidido que Einstein y sus acompañantes eludieran una recepción organizada en honor suyo por John P. O'Brien, alcalde de la ciudad de Nueva York, con animadores, desfile y discursos. O'Brien estaba entonces inmerso en una campaña electoral contra Fiorello La-Guardia, pero sus sueños de ganar el voto judío se esfumaron ante sus propios ojos, porque Einstein y compañía fueron conducidos directamente en lancha a un lugar de la costa de Nueva Jersey, desde donde siguieron hacia el sur en coche, pasando entre vertederos y refinerías de petróleo, hasta su nueva casa de Princeton.

Einstein pasó los primeros días en la Peacock Inn, una antigua pensión situada a pocas manzanas de la universidad. Luego se mudó al número 2 de Library Place, enfrente de la escuela para graduados. Acabó comprando una casita blanca de madera en el número 112 de la calle de Mercer, donde iba a pasar el resto de su vida. La casa, que se remonta, por lo menos, a comienzos del siglo XIX, estaba emplazada en una calle de mucha animación. No era el lugar más apropiado para la meditación serena, pero Einstein se reservó una habitación en la parte trasera del segundo piso, que daba a pinos y robles altos, y la convirtió en su estudio particular; por fin podía dedicarse a su trabajo.

Cuando Einstein se instaló en Princeton, la teoría de la relatividad tenía ya treinta años, casi era historia antigua. Einstein había publicado su teoría especial en 1905, y la teoría general en 1915, y ya no volvió a ocuparse de ella. Pero durante todo ese tiempo un problema le rondaba la cabeza y le inquietaba mucho más de lo que jamás le había inquietado la relatividad. Era el problema cuántico. Desde comienzos del siglo hasta el día de su muerte, en 1955, los problemas cuánticos volvían loco a Einstein. «He dedicado cien veces más pensamiento a los problemas cuánticos que a la teoría de la relatividad general», decía. Pero era en vano. Al final de su vida Einstein se sentía tan desconcertado por estos problemas como al principio, o más incluso. «Estos cincuenta años de cavilación consciente no me han acercado más a la respuesta de la cuestión: ¿Qué son los cuantos de luz?», decía Einstein. «Hoy en día cualquiera piensa que lo sabe, pero se equivoca».

La teoría cuántica es una de las construcciones de más éxito que ha producido la historia de la física. Sus predicciones se han comprobado una y otra vez, pero sin que esto causara la menor impresión a Albert Einstein. «Cuanto más éxito tiene la teoría cuántica», dijo en 1912, «tanto más estúpida parece».

Durante los años que pasó en el Instituto de Estudios Avanzados, la teoría cuántica constituyó la obsesión particular de Albert Einstein. Mientras sus colegas se interesaban por la mecánica cuántica como si fuera el maná del Cielo Platónico, Einstein se limitaba a mover la cabeza con incredulidad. Todo eso del observador que influye en la realidad, de los acontecimientos que ocurren por azar, sin causa, a

él le parecía que carecía de sentido. Era pura y simple sinrazón, y Einstein no perdía ninguna oportunidad de decirlo, sacando a relucir sus famosos epigramas sobre lo que Dios no habría hecho: «Dios no juega a los dados con el mundo», «Puede que Dios sea sutil, pero no malicioso», y así sucesivamente.

En 1935 Einstein se unió con dos de sus colegas del Instituto, Boris Podolsky y Nathan Rosen, para escribir un artículo de cuatro páginas cuyo objetivo era refutar la teoría cuántica, o, por lo menos, dejarla en evidencia. El artículo, firmado por Einstein, Podolsky y Rosen —cuyo argumento central fue bautizado por los físicos con el nombre de «Paradoja EPR»—, produjo un terremoto en todo el mundo de la ciencia física. Era un argumento desconcertante, y los físicos no tenían mucha idea de cómo responder a él, excepto diciendo que estaba equivocado. Einstein recibió cartas en las que se le decía que la paradoja EPR no era realmente una paradoja, que toda la cuestión se basaba en un malentendido, que todo ello era un error. Lo que divertía a Einstein, sin embargo, era que no había dos cartas que estuviesen de acuerdo sobre dónde estaba el error.

Pero el episodio EPR se volvió más curioso todavía a causa del hecho de que fue el mismo Einstein quien, en 1905, publicó la idea revolucionaria de que la luz consistía en cuantos, y no, como todos suponían hasta entonces, en ondas. Por eso resultaba bastante irónico que el mismo hombre que en su juventud había revolucionado la física con su teoría de la relatividad, más aún, el mismo que había propuesto la idea de la cuantización de la luz, se levantase ahora contra su propia prole intelectual. Le habían

traído al Instituto de Estudios Avanzados para hacer ver al mundo lo progresivo que era este centro, y hete aquí que su primer acto importante como físico consistía precisamente en echar por tierra la teoría que parecía que iba a ser la bandera del futuro. Era como retrotraer la física a la edad de las tinieblas, y algunos físicos se sintieron algo acongojados. J. Robert Oppenheimer estuvo de visita en el Instituto en 1935, el mismo año en que Einstein, Podolsky y Rosen sacaron su paradoja a la luz pública. «Einstein está como una cabra», fue lo que dijo Oppie por entonces.

La preocupación de Einstein por el cuanto se remonta al comienzo del siglo, al año 1900, cuando Max Planck, un físico de la Universidad de Berlín, descubrió que los niveles de radiación electromagnética variaban en fases discretas, semejantes a pasos, y no de forma continua. El calor del carbón incandescente, por ejemplo, o la luz del sol, radiaban a un nivel específico de energía, o a algún otro nivel determinado de energía, pero nunca a niveles intermedios. Era como si hubiera cierta medida de *espacio muerto* entre uno y otro nivel, como si la naturaleza fuese, de alguna manera, digital y no analógica. Pero la cuestión era: ¿por qué?

Todo aquello era un misterio. La energía llegaba en forma de ondas —esto, al menos, se creía entonces—, y las ondas son «smooth» y continuas por definición, por lo cual debieran llegar en cualquier amplitud o frecuencia. Pero el hecho empírico era evidentemente que no ocurría así: al contrario, la energía llegaba en unidades discretas permitidas: «cuanto de acción», las llamaba Planck. Planck mostró que estos cuantos eran siempre múltiplos enteros de un

cierto valor:  $6,55 \times 10^{-27}$  ergios por segundo, valor conocido ahora con el nombre de Constante de Planck, y cuyo símbolo es  $h$ . Planck resumió su descubrimiento con la ecuación

$$E = h\nu,$$

que afirma: la energía ( $E$ ) es igual a la constante de Planck ( $h$ ) multiplicada por la frecuencia ( $\nu$ ) de la energía radiada. Lo extraño era que, aunque la ecuación parecía encajar perfectamente con los datos experimentales, Planck, a pesar de todo, no se decidía a aceptar la conclusión de que la energía, de la manera que fuese, llegaba en unidades discretas. La *materia*, naturalmente, actúa así, pero no la energía.

Cinco años después, Albert Einstein mostró que la energía, a fin de cuentas, no se difundía en forma de ondas, sino que aparecía en forma de *partículas*. A primera vista, admitía Einstein, la luz podía parecer continua y semejante a ondas, pero lo cierto era que llegaba en forma de fardos o paquetes autónomos. «En conformidad con el supuesto que consideramos aquí», escribió Einstein en su artículo de 1905 sobre los cuantos de luz visible,

*«la energía de un rayo de luz esparciéndose desde una fuente de radiación concreta no se distribuye de manera continua por un espacio cada vez mayor, sino que consiste en un número finito de cuantos de energía que están localizados en puntos del espacio, que se mueven sin*

*dividirse y que sólo pueden producirse y absorberse en unidades enteras».*

Y así es como nació la teoría de los cuantos de luz. A pesar de todo, en ese momento nadie podía creérsela. Einstein acabó saliéndose con la suya, por supuesto, aunque la lucha fue dura. El investigador de la Universidad de Chicago Robert Millikan, por ejemplo, se impuso la tarea de *confutar* «la hipótesis temeraria, por no decir atolondrada, del corpúsculo de luz electromagnética». Y se dispuso a someter a prueba la teoría.

*«Dediqué diez años de mi vida a poner a prueba la predicción de Einstein de 1905», dijo más tarde, «y, al contrario de lo que yo esperaba, no tuve más remedio que confirmar su inequívoca verificación en 1915, a pesar de lo irrazonable que era».*

En 1920 los físicos se mostraron finalmente dispuestos a aceptar la idea propuesta por Einstein quince años antes: la luz no se propagaba por el espacio en forma de ondas, sino de partículas discretizadas.

Cuando, en el otoño de 1933, el Instituto de Estudios Avanzados abrió, por fin, sus puertas al mundo, no estaba en Newark, sino en Princeton, y concretamente en Fine Hall, el edificio de la facultad de matemáticas de la universidad. Desde entonces la gente tiene la impresión de que el Instituto está relacionado de alguna manera con la universidad, como cuando lo denominan «el Instituto de Estudios



Avanzados de la Universidad de Princeton». Pero esto no es exacto, y nunca lo ha sido, porque el Instituto utilizó las oficinas de la universidad solamente como sede provisional, mientras se ultimaba la compra de un solar donde instalar campus propio, cosa que, finalmente, se pudo hacer a fines de los años treinta. Entretanto se había instalado en Fine Hall a modo de huésped de la universidad, a la que el Instituto hizo un donativo de unos quinientos mil dólares a cambio de este favor. Ambas instituciones, sin embargo, están ahora, y siempre lo han estado, separadas, tanto financiera como administrativa y orgánicamente; son dos entidades distintas.

Cuando comenzó sus actividades, el Instituto, además de a Einstein, tenía en su nómina a otros tres profesores: James Alexander, John von Neumann y Oswald Veblen. Estos cuatro, juntos, reunían suficiente prestigio y lustre académico para justificar los anteriores alegatos de Abraham Flexner de que «había uncido al Instituto deliberadamente para el estrellato», «esbozado una Utopía educativa», y fundado «un Paraíso para sabios». Sin embargo, casi desde el principio mismo, hubo problemas en el Paraíso.

En primer lugar, había que contar con el hecho molesto de que tres de los cuatro habían sido arrebatados al Departamento de Matemáticas de la Universidad de Princeton, a pesar de las garantías dadas por Flexner en el sentido de que «por nada de este mundo haría intento alguno de perjudicar la gran obra matemática que está llevándose a cabo en Princeton». En parte para expiar estos pecados, Flexner y Louis Bamberger prometieron al decano de la

universidad, Luther Eisenhart, que nunca más volvería a pasar una cosa así. Técnicamente el Instituto ha cumplido este acuerdo de no «cazar en terreno vedado», por más que se podría discutir hasta qué punto sigue cumpliéndolo en su sentido más estricto. Por ejemplo, años más tarde, cuando el Instituto tuvo la idea de ponerse en contacto con el matemático de Princeton John Milnor, el asunto se resolvió muy hábilmente.

Milnor era matemático de la universidad, donde había sido también estudiante, y luego profesor, y estaba a punto de ser miembro permanente, cuando el Instituto pensó que le gustaría incorporarlo a su nómina estelar. Milnor, a fin de cuentas, tenía la medalla Fields, el más alto distintivo de su disciplina, y el Instituto colecciona ganadores de medallas Fields como otros coleccionan mariposas. Pero, claro, esto desmentiría el acuerdo de no robarse estrellas mutuamente. Sin embargo, ¿quién podría decir nada si Milnor se iba primero a algún otro sitio durante uno o dos años y *luego* pasaba de allí al Instituto? Procediendo de otro sitio, técnicamente al menos, no se podría aducir que el Instituto se lo había robado a Princeton. Todas las partes interesadas aparentarían haber cumplido sus compromisos, y así es como John Milnor pasó un año en UCLA y dos en el MIT, para en el otoño de 1970 ser nombrado finalmente profesor de matemáticas en el Instituto de Estudios Avanzados.

En segundo lugar, estaba la cuestión de los sueldos. No es que fueran bajos, más bien al contrario. El problema era que parecían demasiado altos..., por lo menos a los que no los cobraban; por

ejemplo, los que no habían sido escogidos por el Instituto y quedaban relegados a la universidad. Siempre había sido uno de los principales objetivos de Abraham Flexner remunerar a su personal tan espléndidamente que a ningún profesor del Instituto se le ocurriera jamás «completar sus insuficientes ingresos escribiendo libros de texto innecesarios o dedicándose a chapuzas de otro tipo». El espíritu mismo del Instituto consistía en atender a las necesidades materiales de sus miembros de tal manera que no les quedase otra actividad concebible que la de pensar. Pero, por lo que al reparto de sueldos se refería, Flexner se superó a sí mismo: ofreció quince mil dólares al año a Oswald Veblen, justo cinco mil más que a Einstein, por lo menos en un principio, más una jubilación de ocho mil dólares y una pensión vitalicia de cinco mil a la esposa de Veblen. En la década de los treinta esas cifras eran chocantes. La jubilación de Veblen equivalía, o incluso, en algunos casos, superaba, al sueldo total normal de algunos de los mejores profesores de Princeton. Y esto generaba resentimiento. Como comentaría años más tarde la historiadora del Instituto, Beatrice Stern: *«Resulta difícil acostumbrarse a este tipo de comparaciones sobre todo cuando se trata del mismo colega con distinta ropa»*.

Pero había un tercer problema, esta vez en el ámbito de la organización del Instituto. Flexner había dicho siempre que el Instituto concedería «el doctorado y otros grados profesionales del mismo nivel», y esto, de hecho, se estipulaba en el certificado fundacional del Instituto. Pero, de pronto, y sin explicación alguna, Flexner anunció que «sólo se admitiría a aquellos estudiantes que

tuvieran ya el doctorado o cuya preparación fuese equivalente a ese doctorado, y que, además, estuviesen ya lo suficientemente avanzados como para proseguir y cooperar en las tareas de la investigación independiente». Dicho de otra forma: el Instituto no concedería el grado de doctor.

Este cambio sorprendió mucho a Oswald Veblen, que era jefe del Departamento de Matemáticas del Instituto. Sin embargo, examinando la cuestión desde la actualidad, vemos que quizá no debiera haberle extrañado. En el verano de 1932 Flexner había llevado a Veblen a Nueva York de viaje de estudios de campo, para mostrarle el Instituto Rockefeller de Investigación Médica, donde era director su hermano Simón Flexner. Flexner explicó a Veblen que el Instituto Rockefeller no concedía grados académicos, que su única *raison d'être* era la investigación, y que lo mismo iba a pasar con el Instituto de Estudios Avanzados. Y un año después, poco antes de la apertura del Instituto, Flexner había escrito a Veblen en los siguientes términos: «No quiero empezar concediendo el grado de doctor, porque no quiero que el personal tenga que ocuparse de tesis, exámenes y demás problemas. Hay sitios de sobra donde conseguir doctorados. Nuestro trabajo tiene que ir más allá».

A pesar de ello, Veblen admitió en el Instituto a dos estudiantes como candidatos para el doctorado en filosofía, uno de los cuales sólo era licenciado en ciencias. Esto enfureció a Flexner, que se dirigió al comité de administradores del Instituto pidiéndoles que sancionaran su nueva decisión sobre doctorados en vista de la desobediencia de Veblen. Flexner explicó a los administradores,

pero no a sus propios profesores, que, aunque el Instituto, por razones legales, había solicitado de la Junta de Educación de Nueva Jersey permiso para otorgar doctorados, no había tenido nunca la menor intención de conceder ese título. Aún hoy el Instituto sigue sin conceder ese grado, por más que algunos de sus profesores opinan que debería hacerlo.

Estos problemas eran parte de los crecientes quebraderos de cabeza de los que el instituto adolecía ya en su juventud, pero, a pesar de ellos, los jóvenes científicos acudían a él como moscas a la miel. Kurt Gödel y Alonzo Church, que se dedicaban a la lógica, entraron en él en calidad de «trabajadores», como se les llamaba allí, y lo mismo les ocurrió a los matemáticos Deane Montgomery, Boris Podolsky y Nathan Rosen. En 1931 Einstein y Podolsky, junto con Richard Tolman, siendo los tres miembros del profesorado del Instituto de Tecnología de California, en Pasadena, escribieron un artículo. Una versión resumida, de dos páginas, se publicó en la *Physical Review*, y hablaba de una «aparente paradoja» de la mecánica cuántica. Ahora, a la edad de cincuenta y seis años, Albert Einstein se dispuso a hacer su mejor esfuerzo, a lanzarse a su mayor y más decisiva ofensiva contra la teoría que le había motivado más que ninguna otra cosa en física.

Al llevar a cabo este ataque, Einstein no estaba, en absoluto, abandonando su propia teoría anterior sobre los cuantos de luz, sino, solamente, rechazando los añadidos ulteriores a la teoría cuántica, una colección de doctrinas que llevaban el nombre de «la interpretación de Copenhague»; según esta nueva opinión, que

había sido desarrollada por Niels Bohr y Werner Heisenberg, el observador tenía que ser transportado dentro de la imagen cuántica de una manera básica: carece de sentido, afirmaban los dos sabios, hablar de la sutil estructura de la materia sin especificar los instrumentos y los medios por los que hay que llevar a cabo las observaciones de los fenómenos cuánticos.

Bohr, en consecuencia, trató, de manera completamente deliberada, de difuminar la línea divisoria entre los instrumentos de medición y el objeto medido:

*«La magnitud finita del cuanto de acción», decía, «impide por completo establecer una distinción clara entre el fenómeno y el agente a través del cual se observa».*

La razón de esto era que el acto de observación cambia al objeto observado. Como lo explicaba el físico Pascual Jordán: «Las observaciones no solamente afectan a lo que ha de ser medido, sino que lo producen... Obligamos (al electrón) a adoptar una posición definida... Nosotros mismos producimos los resultados de la medición». O bien, como lo expresó más adelante John Wheeler: «Ningún fenómeno es un fenómeno real hasta que es un fenómeno *observado*».

Pero Albert Einstein no quería ni siquiera oír esto. «Cuando un ratón observa», solía preguntar, «¿cambia acaso el estado del universo?». Para él las cosas de este mundo tenían las propiedades que tuviesen, y seguían teniéndolas, las mirase uno o no. Esto era cierto a gran escala, y él quería que también lo fuese a pequeña

escala, a la escala de los cuantos. Para Einstein, ninguna doctrina técnica científica podía anular la idea filosófica, más fundamental, de la «realidad objetiva», el principio de que las cosas poseen todas sus propiedades independientes y anteriormente al acto de la observación. Para Einstein, el acto de la observación ni produce ni crea propiedad alguna.

En esto, por lo menos, Einstein no tenía nada de relativista. «Con frecuencia debatíamos su idea de la realidad objetiva», decía Abraham Pais, biógrafo de Einstein, que le conoció en el Instituto, «y recuerdo una vez que estábamos paseando y Einstein se paró de pronto, se volvió hacia mí y me preguntó si yo creía realmente que la luna sólo existe cuando la miro».

Einstein pensaba que había encontrado una paradoja importante en la teoría cuántica y quería desarrollarla más, y por esta razón debatía sus ideas con su viejo colega, Boris Podolsky, y también con Nathan Rosen, que entonces tenía veintiséis años y acababa de recibir un doctorado en física del Instituto de Tecnología de Massachusetts. Los tres solían aducir que, según los supuestos mismos de la teoría cuántica, tiene que haber algo en la naturaleza *más allá* de lo que aparece en las observaciones experimentales. Tiene que haber alguna realidad subyacente que sea persistente y estable. La teoría cuántica no reconocía la existencia de una realidad subyacente de este tipo —más aún, la negaba explícitamente— y esto quería decir que la teoría cuántica era *incompleta* en tanto que explicación total de la naturaleza. Por esta razón titularon así su artículo: «Can Quantum-Mechanical

Description of Physical Reality be Considered Complete», o sea: «¿Puede ser considerada completa la descripción de la realidad de la mecánica cuántica?», y a esta pregunta respondían con un sonoro NO.

Cincuenta años más tarde este argumento sigue siendo polémico. Los tres colaboradores tomaron como punto de partida el «principio de incertidumbre» de Heisenberg. Este último había descubierto que los atributos cuánticos aparecen en pares, como por ejemplo posición y cantidad de movimiento lineal, o energía y tiempo transcurrido, y que estos pares —que se llaman «variables conjugadas»— están relacionadas de tal manera que no es posible conocerlos con total exactitud en un solo experimento. Heisenberg lo definió en forma de relación matemática, según la cual si  $\Delta x$  representa la incertidumbre de uno de los atributos (por ejemplo, la posición), y  $\Delta y$  la incertidumbre de otro de los atributos (por ejemplo, la cantidad de movimiento lineal), el producto de estas incertidumbres es mayor o igual a la constante de Planck,  $h$ :

$$(\Delta x) \times (\Delta y) \geq h.$$

A pesar de su nombre, el principio de incertidumbre no sostiene que «todo es incierto» a nivel cuántico, sino que afirma precisamente lo contrario, a saber, que *cualquier* atributo de una partícula cuántica puede ser conocido con exactitud completa y total. El precio de esta exactitud, sin embargo, es que se perderá todo conocimiento de la *otra* propiedad emparejada de la partícula en cuestión. Por ejemplo,



podemos conocer con certidumbre la posición de un electrón, pero entonces, según el principio de incertidumbre, no será posible saber nada en absoluto sobre su cantidad de movimiento lineal. Como lo expresó en cierta ocasión Werner Heisenberg, es como «el hombre y la mujer del barómetro: si sale el uno tiene que entrar el otro». Lo que nos impide poseer el conocimiento exacto de ambos valores al mismo tiempo no es que los cuantos sufran de timidez o esquividad metafísica de ningún tipo, sino, simplemente, el hecho, básico en la mecánica cuántica, de que el acto de medición afecta al objeto medido. La partícula se pierde por completo de vista a partir del momento en que ha sido observada.

Einstein, Podolsky y Rosen, sin embargo, argumentaron que es posible comprender que los cuantos tienen propiedades tan concretas y objetivas como cualesquiera otras de las que puedan encontrarse en la física clásica. Supongamos, explicaron, que se tienen dos partículas, A y B, y que se conoce su momento total y su posición relativa. Ahora bien, esto es algo que la teoría cuántica ortodoxa permite sin objeción alguna: permite conocer con certidumbre la suma de momentos de ambas partículas, así como sus posiciones relativas. Supongamos, argumentaban, que las dos partículas interaccionan, y que luego se separan y vuelan cada una por su lado, recorriendo vastos trechos, hasta llegar a estar, quizá, a años luz de distancia la una de la otra. Por la ley de conservación del momento angular sabemos que la suma de momentos de ambas partículas será la misma antes y después de su separación. Pero Einstein y sus colaboradores se dieron cuenta de que, si no se

midiera el momento de una de ambas partículas, no solamente se sabría el momento de esa partícula, sino también el de la otra. Y se sabría *sin haber afectado en absoluto a la otra partícula*. Esto era significativo, porque quería decir que la cantidad existía la midiésemos o no, o sea, precisamente aquello cuya posibilidad negaba constantemente la mecánica cuántica.

Supongamos, por ejemplo, que el momento total de las dos partículas A y B es 10 (en determinadas unidades) y que, después de la separación de las partículas, el momento de A se mide y resulta ser 6. Si restamos 6 de 10 veremos que la partícula B tiene que tener un momento de 4, y esto lo sabríamos sin necesidad de afectar en absoluto a B. Pero si se puede conocer la cantidad de movimiento lineal de una partícula sin afectarla, resulta claro que dicha partícula tiene que tener movimiento lineal *se la mida o no se la mida*, dicho de otra forma: el momento tiene necesariamente que existir de manera objetiva, independientemente de la observación.

Pero un argumento semejante puede aplicarse a las posiciones relativas de ambas partículas, porque, si medimos la posición de una de ellas, podremos deducir la de la otra sin afectarla en nada. En tal caso las dos partículas deben poseer sus posiciones respectivas anterior e independientemente de cualquier otro acto de medición, lo cual significa que esa posición es un atributo tan objetivo como la cantidad de movimiento lineal. Para Einstein y sus colaboradores estas dos propiedades cuánticas eran realidades objetivas, existentes independientemente de la medición. Pero como la mecánica cuántica no permitía la existencia de propiedades

objetivas, Einstein, Podolsky y Rosen declararon que la mecánica cuántica es fundamentalmente incompleta en tanto que teoría de la naturaleza.

Para Niels Bohr todo este asunto era sumamente desagradable. No le gustaba mucho la idea de la «realidad objetiva», y había dedicado buena parte de su carrera física a socavar las bases de este concepto. Bohr pretendía sustituirlo por una idea alternativa llamada «complementariedad», según la cual realidad y conocimiento están inseparablemente vinculados, y en la cual, en sus propias palabras, «no se puede establecer distinción clara entre las conductas de los objetos mismos y su interacción con los instrumentos de medición». El que Einstein y sus amigos sostuviesen que es posible separar realidad y conocimiento, como en los viejos tiempos —los días sosegados de la física clásica—, era para Bohr un retroceso que había que cortar de raíz, pero la cuestión era: ¿cómo?

«Ese ataque se nos vino encima como una bomba», dice León Rosenfeld, que estaba en Copenhague en compañía de Bohr cuando llegó la noticia de la Paradoja Einstein/Podolsky/Rosen, «y su efecto en Bohr fue notable», añadió, «porque en cuanto Bohr oyó mi informe sobre el argumento de Einstein todo lo demás perdió importancia: lo esencial era aclarar el malentendido inmediatamente». La paradoja EPR salió incluso en los periódicos. El 4 de mayo de 1935 el *New York Times* publicó un artículo sobre esta polémica: «Einstein ataca la Teoría Cuántica», decía el titular.

Bohr, muy excitado, se puso a dictar inmediatamente la respuesta a Einstein y compañía. Se dio cuenta enseguida, sin embargo, de que la cosa no era nada fácil. Comenzaba de una manera, luego cambiaba de idea, volvía atrás y recomenzaba. No le era posible concretar con exactitud el problema. «Pero ¿qué es lo que quieren decir?, ¿lo comprende usted?», le preguntó a Rosenfeld.

Después de unas seis semanas de trabajo, Bohr tuvo por fin lista su réplica. Apelando a «la renuncia total a la idea clásica de la causalidad», «una revisión radical de nuestra actitud ante la realidad física», y «una modificación fundamental de todas las ideas relacionadas con el carácter absoluto de los fenómenos físicos», Bohr insistía en que la medición de una partícula *afecta* en realidad a la otra de cierta manera no especificada, y que la comprensión correcta de los fenómenos cuánticos debe incluir la influencia de la medición en las dos partículas que estén siendo examinadas.

Hoy en día la exactitud del argumento Einstein/Podolsky/Rosen sigue siendo un problema físico sin resolver. En un examen de la literatura que ha ido acumulándose a lo largo de estos años sobre el tema, el físico de Cornell David Mermin escribió en 1985, no del todo humorísticamente: «Los físicos contemporáneos son de dos tipos. A los del tipo número uno les tiene preocupados Einstein/Podolsky/Rosen... A los del tipo número dos (que son la mayoría) no les preocupa. Pero hay que distinguir dos subtipos: Los físicos del tipo 2A explican la razón de que no les preocupe, y sus explicaciones tienden, o bien a desviarse por completo de la cuestión..., o bien a contener afirmaciones demostrablemente

falsas. A los del tipo 2B, en cambio, ni les preocupa ni se molestan en dar explicaciones. Su posición es inatacable. (Hay variantes del tipo 2B que dicen que Bohr desenmarañó todo este asunto, pero se niegan a explicar cómo lo hizo)».

A comienzos de los años ochenta Alain Aspect y sus colaboradores investigadores del Instituto de Óptica Teórica y Aplicada de la Universidad de París llevaron a cabo un experimento que pareció demostrar que si se tomara en serio el argumento Einstein/Podolsky/Rosen podrían enviarse señales instantáneamente a través de grandes distancias, circunstancia ésta que indujo a un investigador a sugerir al Departamento de Defensa de Estados Unidos la utilización de las correlaciones Einstein/Podolsky/Rosen como método de comunicación más rápido que la luz entre los submarinos norteamericanos. Sean cuales fueren las posibilidades prácticas de esta idea, a Einstein le parecería divertido que, más de cincuenta años después de la publicación de su famosísimo reto a la mecánica cuántica, el argumento Einstein/Podolsky/Rosen siguiera inquietando a algunos físicos.

Mientras tanto, muchos físicos se sintieron lógicamente angustiados ante la persistente oposición de Einstein a la teoría que él mismo había ayudado a crear. «Fue un campeón en la lucha por la conquista del terreno inexplorado de los fenómenos cuánticos», dijo Max Born en 1949, «y, sin embargo, más tarde, cuando surgió de su propia obra una síntesis de principios estadísticos y cuánticos que parecía aceptable a ojos de casi todos los físicos, se mantuvo

escéptico y al margen de ella. A muchos de nosotros esto nos parece una tragedia: tanto para él, que va a tientas en la más completa soledad, como para nosotros, que nos vemos privados de nuestro guía y abanderado».

Pero los resultados del vacilante y solitario camino de Einstein siguen entre nosotros. Richard Feynman dijo en 1982, refiriéndose a la paradoja Einstein/Podolsky/Rosen: «No me es posible definir el verdadero problema, y, por lo tanto, sospecho que no hay verdadero problema, pero no estoy seguro de que no haya verdadero problema».

Dicho de otra forma, es posible que la realidad objetiva siga teniendo una oportunidad.

Las batallas intelectuales de Einstein con la teoría cuántica iban paralelas a las que libraba al mismo tiempo con Abraham Flexner. Desde el comienzo mismo Flexner quiso que el Instituto se mantuviese lejano y apartado, tan separado del resto del mundo como fuese humanamente posible. «Debiera ser un refugio», decía, «en el que eruditos y hombres de ciencia consideren el mundo y sus fenómenos como su laboratorio, sin dejarse llevar por el remolino de lo inmediato». Sin embargo, no todos los que observaban cómo se iba formando el Instituto estaban convencidos de que esa actitud de automarginación del mundo exterior fuera una buena cosa. El doctor George E. Vincent, de la Universidad de Chicago, le dijo a Flexner que, al menos por lo que a Chicago se refería, había gente de alto nivel que no podía aislarse de la realidad, al contrario, se metían «en pleno remolino», y salían de él en mejor estado de salud.

De la misma manera, Arnold Toynbee le dijo a Flexner que la completa separación que propugnaba podría, a fin de cuentas, conducir a la esterilidad intelectual. La gente tiene que pertenecer a su tiempo, dijo Toynbee, y aconsejó a Flexner «no cortar sus raíces». (Toynbee, por lo que parece, sí se sentía capaz de cortar sus propias raíces de vez en cuando, porque fue miembro del Instituto en cinco períodos distintos a fines de los años cuarenta y comienzos de los cincuenta).

Flexner estaba decidido a impedir que su profesorado se sumergiera en las cosas externas, pero en el caso de Einstein hizo ciertos esfuerzos especiales porque quería sobre todo que éste no se desviara un solo momento de su misión de seguir produciendo conceptos físicos revolucionarios. Antes de la llegada de Einstein al Instituto comenzaron a llegar cartas, llamadas telefónicas y telegramas dirigidos a él, y Flexner, por supuesto, ordenó que fuesen interceptados, e incluso que se respondiese a ellos en nombre de Einstein. (Hoy en día el Instituto sigue recibiendo de vez en cuando cartas dirigidas a Albert Einstein). Lo malo del caso es que Flexner siguió obrando del mismo modo después de la llegada de Einstein al Instituto.

Poco después de la inauguración del Instituto se recibió una llamada de Marvin MacIntyre, secretario de Franklin D. Roosevelt, presidente de Estados Unidos. El presidente quería invitar a Einstein y a su mujer a cenar en la Casa Blanca. La llamada, no se sabe cómo, llegó hasta la secretaria de Einstein, que aceptó la invitación. Flexner se enteró de esto e informó por teléfono a la Casa

Blanca —y no con demasiada cortesía— de que sólo se podían concertar compromisos con Einstein por intermedio de él (de Flexner) y que, lamentablemente, el profesor no podría ir a esa cena. Flexner remató esta respuesta con una severa carta en la que explicaba que «el profesor Einstein ha venido a Princeton con objeto de continuar su trabajo científico en el aislamiento», y añadía que «es absolutamente imposible hacer una excepción que, inevitablemente, le daría publicidad».

Como es de suponer, Einstein acabó interviniendo y arreglándolo todo y fue a la cena de la Casa Blanca, pero Flexner continuó actuando como si fuera su secretario de prensa y su encargado de relaciones públicas personales. Al cabo de un tiempo Einstein comenzó a sentirse preso en el Instituto, y cuando escribía cartas a amigos íntimos les daba como remite: «Campo de Concentración, Princeton». La cosa acabó llegando a tal extremo que se quejó a la junta de administración del Instituto. Flexner, según él, «ha intervenido sin ningún tacto en mis asuntos personales... Ha escrito cartas ofensivas a mi mujer y a mí mismo». Además, Flexner había tratado de impedir que Einstein apareciera en el Royal Albert Hall, de Londres, había interceptado cartas y telegramas importantes, etc., etc., etc. Si Flexner no corregía esos hábitos perversos, Einstein dimitiría de su puesto en el Instituto. Como siempre que se tenía que enfrentar con la posibilidad de la deserción de alguna de las estrellas de su profesorado, Flexner cedió.

Las dificultades de Einstein, sin embargo, no se limitaban a sus relaciones con Abraham Flexner. También tuvo que encontrar



sustituto de su ayudante, Walther Mayer, en quien tanto había confiado. Al parecer, en cuanto se vio en el Instituto, Mayer empezó a distanciarse mucho de su maestro. El único trabajo que hicieron juntos allí fue un artículo publicado en 1934, después de lo cual Mayer volvió a su propio trabajo de matemáticas puras y rehusó seguir teniendo que ver con la teoría unificada de campo. En 1936-1937, Einstein se buscó dos nuevos ayudantes, Peter Bergmann y Leopold Infeld. Quería que siguiesen también con él durante el año académico de 1937-1938, pero enseguida se vio en dificultades al tratar de que les siguieran pagando sus sueldos. En el Departamento de Matemáticas el dinero estaba a cargo de Oswald Veblen, el cual, por desgracia, decidió que, como Mayer había entrado en el Instituto con el puesto específico de ayudante de Einstein, éste no tenía derecho a ningún otro ayudante. Einstein apeló directamente a Flexner, que se ocupó de que Bergmann cobrara un sueldo durante varios años más. El caso de Infeld, sin embargo, quedó en suspenso.

En febrero de 1937, Einstein pidió a sus colegas que asignaran a Infeld la modesta suma de seiscientos dólares para el año académico de 1937-1938. Con una actitud que no era típica de él, Einstein asistió a una reunión del profesorado del departamento para hacer un llamamiento especial en nombre de Infeld, y, con gran sorpresa por su parte, no consiguió nada. «Hice lo que pude», le dijo entonces a Infeld, «les expliqué lo bueno que eres, y que estamos haciendo un trabajo científico de importancia juntos, pero ellos adujeron que no tienen dinero suficiente... No sé hasta qué

punto es cierto. Empleé expresiones muy enérgicas, como nunca las había usado hasta ahora, y les dije que, a mi modo de ver, lo que hacían era injusto..., pero nadie me echó una mano».

Einstein, en vista de esto, se ofreció a pagar a Infeld los seiscientos dólares de su propio bolsillo, pero Infeld rehusó. Desesperado, Infeld propuso escribir un libro de divulgación sobre la evolución de la física, que se publicaría y vendería con el nombre de ambos como coautores. Einstein aceptó e Infeld escribió el libro durante el verano de 1937. Cuando se publicó *The Evolution of Physics*, en 1938, ambos coautores obtuvieron mucho más de seiscientos dólares, pero el recuerdo amargo de la tacañería del Instituto siguió vivo en sus memorias durante largo tiempo.

Finalmente se produjo el caso de Erwin Schrödinger. Schrödinger, que acababa de ganar el premio Nobel de Física en 1933 (a medias con P. A. M. Dirac), había colaborado con Einstein en la Universidad de Berlín en los años veinte. Schrödinger llegó a Princeton en la primavera de 1934 para ocupar un puesto de profesor visitante en la universidad. Él y Einstein, que parecían estar en la misma onda en cuestiones de física, volvieron a colaborar y les fue bastante bien. La universidad ofreció a Schrödinger un puesto permanente, pero él lo rechazó alegando que creía que el Instituto iba a hacerle una oferta en un futuro inmediato y prefería trabajar allí. Lo malo era que el Instituto no tenía intención de dar puesto alguno a Schrödinger, ni, al parecer, la había tenido nunca. A pesar de que Einstein en una ocasión apeló a Flexner, el Instituto no hizo ningún

ofrecimiento a Schrödinger, que tuvo que acabar volviendo a Europa.

Algunos, para explicar el que se tratara a Einstein de esta manera, sugieren que Veblen, que era matemático puro, sentía cierto recelo hacia Einstein, que era físico. Otra posibilidad, se decía, era que los físicos que ya formaban parte del Instituto se la tenían jurada a Einstein porque estaba desacreditando la mecánica cuántica a cada momento. Según una tercera versión, todo el mundo se sentía decepcionado de Einstein porque cuanto más envejecía, menos aportaba al campo de la física, por lo cual no había razón para seguir tomándose molestias especiales por él. Pero Einstein cumplía lo principal de su cometido con el mero hecho de *estar* en el Instituto. No tenía que hacer nada: su papel consistía simplemente en ser un mascarón de proa, un icono vivo, un santo patrono. «Es un hito, pero no un faro», diría de él Oppenheimer más adelante.

Einstein no tardó en enterarse de cuál era su papel. El Instituto celebra un baile todos los años en primavera, y en la mañana del baile del último año que pasaría Flexner en el Instituto como director, Einstein le dijo a su ayudante, Valentine Bargmann, que le vería por la noche, en el baile. A Bargmann le sorprendió que Einstein quisiera asistir. «Claro que pienso ir», dijo Einstein, «y lo tomo muy en serio, después de todo para eso me trajo aquí el señor Flexner».

En 1936 el Instituto compró Olden Farm y algunas parcelas contiguas, un total de unas ochenta hectáreas en tierras a un kilómetro al sur del campus de la Universidad de Princeton. Tres

años más tarde, después de recibir otro importante donativo de Louis Bamberger y Caroline Fuld, el Instituto se instaló en Fuld Hall, un edificio nuevo de ladrillo rojo y cuatro pisos de altura en el que había de todo: oficinas para el director, los profesores fijos y los miembros interinos, una biblioteca de matemáticas y una gran sala de reunión donde se podía tomar el té por la tarde.

A todo el mundo le pareció bien irse del campus de la Universidad de Princeton. Algunos, entre ellos Einstein, pensaban que el presidente de la universidad, Harold Dodds, tenía demasiada influencia sobre Flexner. En una reunión del profesorado que tuvo lugar a fines de los años treinta, el profesor James Alexander informó de que «a un joven matemático se le negó discretamente la entrada en el Instituto porque, por ser negro, la Universidad de Princeton se habría opuesto a él». Si a esto añadimos nuevas acusaciones de antisemitismo en Princeton, todos los interesados pensaron que lo mejor para el Instituto era que tuvieran mayor autonomía.

Sin embargo, Abraham Flexner no llegó nunca a ocupar su nuevo despacho, porque mucho tiempo antes de la inauguración del nuevo edificio el profesorado estaba ya conspirando para eliminarle de la dirección y poner en su lugar a uno de los administradores del Instituto, Frank Aydelotte. La cuestión era que muchos profesores pensaban que Flexner tenía la costumbre de excluirles de los asuntos administrativos del Instituto. Al principio Flexner había pensado que los miembros del Instituto tuvieran algún tipo de participación en su administración, pero acabó decidiendo que

cualquier sistema de autogobierno conduciría a interminables rencillas. Fue Flexner mismo, sin embargo, quien provocó todas las rencillas imaginables cuando, a fines de los años treinta, decidió contratar a dos nuevos economistas.

Con esto lo que consiguió fue provocar el Motín Número Uno del profesorado del Instituto.

En su comienzo, en 1933, el Instituto sólo consistía en un departamento de matemáticas. Comenzó con matemáticas, explicaba Flexner, porque «sus estudiosos se muestran completamente indiferentes a la práctica, y en particular a la práctica inmediata, y esta actitud mental y espiritual a mí me pareció que debiera ser la que dominase en el nuevo instituto». A pesar de este énfasis platónico-celestial sobre la teoría pura, dos años después, el Instituto añadió a sus actividades un departamento de economía y política. Esto reflejaba, en parte, los prejuicios de Flexner, que pensaba que los economistas podían mejorar la situación del mundo. Pero también era una reacción a consejos que Flexner había recibido de gente como el historiador Charles Beard, el cual, en 1931, le apremió a *empezar* con economía. «Deja las matemáticas y adopta la economía», le dijo Beard, «y así empezarás con lo más difícil de todo. La economía es tan matemática y tan estadística como se quiera, pero también es algo más, porque es una disciplina mucho más “severa” que las matemáticas, ya que trata de lo inexacto». Como fuera, la Facultad de Economía y Política comenzó con tres profesores: Edward Mead Earle, David Mitrany y Winfield Riefler.

Más tarde, cuando Flexner quiso añadir gente nueva al departamento, lo hizo sin consultar a dos de los hombres que ya estaban en nómina. Esto dio la impresión de que lo que quería era meter allí gente solamente por su interés propio, impresión, por cierto, que no se disipó cuando el resto del profesorado supo a quiénes había contratado Flexner: Walter Stewart y Robert Warren. Estos dos caballeros no eran los más apropiados para el Instituto desde ningún punto de vista. Para empezar no eran ni siquiera eruditos. No solamente no tenían el doctorado, sino que uno de ellos tenía solamente título de graduado por... ¡la Universidad de Missouri! Era cierto que los dos habían trabajado para el gobierno, pero cabía preguntarse si esto les daba la categoría necesaria para entrar en el Instituto. Al parecer, a Flexner, no se sabía cómo, se le había metido en la cabeza que con eso era suficiente, que su experiencia del mundo exterior les daba una posición única en la torre de marfil del Instituto. Quizá hasta se les ocurriese una manera de acabar con la Depresión. Flexner llegó incluso a hablar de un programa de «economía clínica» en el Instituto.

Era evidente que Flexner estaba perdiendo facultades. El Instituto alardeaba de ser el último bastión de la teoría científica, y hete aquí a Flexner, tratando de meter en él a «gente de negocios». Y, lo que era peor, el Instituto se caracterizaba por contratar solamente a la flor y nata, a científicos cuyos títulos y grados estaban rematados con honores, distinciones y *summa cum laude*, y de repente Flexner quería meter en él a gente que no serviría ni para un colegio bíblico de tercera categoría del estado de Arkansas. Y peor aún, si cabía:

Veblen —que era el representante del profesorado en la junta de administración— fue diciendo a otros profesores que en una reunión de la junta Flexner había asegurado que el nombramiento de Stewart y Warren iba a ser temporal, aunque luego quedó registrado en las actas de la reunión como permanente.

Esto era grave. Era evidente que Abraham Flexner iba a tener que irse.

Para entonces Albert Einstein ya había perdido la paciencia con el simplismo, el carácter entrometido y la falta de buen juicio del director. En una reunión que tuvo lugar en la Nassau Taberna, Einstein presidió como anfitrión y presidente mientras se decidía un plan para deshacerse de Flexner. Más adelante, en la primavera de 1939, Einstein, junto con el matemático Marston Morse y la arqueóloga Hetty Goldman, escribió una carta a Flexner pidiéndole que se consultase al profesorado siempre que fuera a hacerse algún nombramiento nuevo de profesor o director. Flexner se reunió con Einstein y Morse, pero no dijo ni sí ni no a esta petición. La cuestión era que ya se había elegido a un nuevo director, Frank Aydelotte, sin el conocimiento de los profesores. Flexner prefirió no comunicar esta información a sus críticos, que siguieron conspirando para echarle.

Cuando dejó la dirección del Instituto, Abraham Flexner se había transformado en un hombre amargado y lleno de resentimiento. A su sucesor, Frank Aydelotte, le dio unas palabras de consejo a modo de despedida: «Por ti mismo, y por el Instituto, no olvides nunca que tienes que lidiar con intrigantes», le dijo, «confieso ingenuamente

que fui un niño de pecho en sus manos. Creí en sus palabras, pensé que cuando decían que lo que ellos querían era tener oportunidad de estudio y verse libres de la rutina me estaban diciendo la verdad. Pero no me la estaban diciendo, nada de eso, y me refiero a unos pocos o a varios de ellos. Es cierto que querían oportunidades de estudio, con sueldos altos, pero también querían poderes ejecutivos y gerenciales, y cuando vieron que no podían conseguirlos por medio de mí, Veblen y unos cuantos más se dedicaron a intrigar para conseguirlos indirectamente... Lo que quiere Veblen es poder. Maass quiere importancia. Y vas a tener que hacerles ver a los dos que aquí quien manda eres tú».

Y con esta proclamación hecha desde las alturas, Abraham Flexner se retiró como director del Paraíso de los Sabios de Princeton. El Motín Número Uno del profesorado había terminado con éxito. Lo malo era que iba a haber otros.

En el otoño de 1939, cuando Frank Aydelotte entró en el Instituto como director, Albert Einstein se estaba instalando en su nuevo despacho de Fuld Hall, habitación número 115. Era una estancia grande y bien ventilada, situada en la parte trasera del edificio y equipada con pizarra y estanterías, una mesa oblonga para reuniones en un extremo y un mirador en el otro, por el que entraba mucha luz.

*Luz.* Ésta era la especialidad de Einstein, casi diríamos que su propio feudo particular, el tema que le fascinaba desde que, a la edad de dieciséis años, se preguntó qué aspecto tendría el mundo si se viajase en una onda de luz, y luego también durante el «año



milagroso» de 1905, cuando formuló la teoría especial de la relatividad en la que se definía la velocidad de la luz como uno de los absolutos o invariantes del universo físico. Fue en ese mismo año cuando Einstein propuso que los cuantos de luz explicaban el efecto fotoeléctrico, y luego, en 1911, predijo que la gravedad curva los rayos de luz. En 1917 avanzó la idea del fotón de luz, un paquete concreto de energía y momento, elemental y sin masa. En poco tiempo Einstein había hecho más que cualquier otro físico para entender la naturaleza de la ley. Y ahora, en la fase final de su vida, trabajaba en lo que pensaba que iba a ser su tarea última y definitiva, la de unificar los fenómenos de luz y gravedad en una sola teoría general.

Una teoría unificada de campos, de existir, sería uno de los grandes éxitos intelectuales de la humanidad, al resumir todos los elementos dispares del universo en una sola ley que los cubriera como una bóveda. Antes de Einstein se habían llevado a cabo ciertas importantes unificaciones. Newton, por ejemplo, había unido la gravedad terrestre y celeste en una sola teoría que abarcaba a las dos. (Antes de Newton no se sabía que los objetos situados sobre la superficie de la tierra, o cerca de ella —los proyectiles de artillería, por ejemplo—, estuvieran regidos por la misma fuerza, la gravedad, que sujetaba los planetas a sus órbitas y las estrellas a las galaxias). La siguiente gran reducción iba a ser llevada a cabo por Maxwell con sus ecuaciones del electromagnetismo, que unieron la electricidad, la luz y el magnetismo en un solo juego de ecuaciones diferenciales.

Cuando Einstein se puso a trabajar para unir todas las fuerzas conocidas en una sola teoría unificada, tenía presente las leyes de Newton, las ecuaciones de Maxwell, su propia teoría de la relatividad y las leyes de la mecánica cuántica. Al buscar una teoría unificada de la naturaleza, lo que él quería mostrar era que todas las fuerzas y partículas diversas del universo podían ser comprendidas en un solo juego coherente de principios.

Esto era aspirar a mucho. Para empezar, Einstein no disponía de pruebas de que tal unificación fuese posible, o siquiera de que reflejase los hechos. Podría perfectamente resultar, por ejemplo, que los fenómenos del mundo *no* fueran, después de todo, incluíbles en una sola ley, la que fuese, y que, por el contrario, fueran en esencia fenómenos diferentes y fundamentalmente inconexos entre sí. Otro obstáculo era que Einstein no tenía la seguridad de que, incluso si existía en realidad una ley onnimoda de ese tipo, la mente humana pudiera abarcarla. Pero ya una vez había conseguido lo imposible y quizá pudiera volver a hacerlo, con sólo pensar.

Einstein terminó su primer artículo sobre la teoría de campos en enero de 1922. Trabajando en ese problema había dado muchos pasos en falso y muchos pasos atrás, había tenido que recomenzar una y otra vez, y volver a examinar repetidas veces posibilidades descartadas. Y así siguió hasta el último día de su vida. En el Instituto, Einstein se dedicó por completo a la teoría de campos trabajando junto con Walther Mayer, Valentine Bargmann, Peter Bergmann, Ernst Straus, Bruna Kaufman y gran número de otros colaboradores y ayudantes. Habitualmente su jornada de trabajo

comenzaba a las nueve y media o las diez de la mañana, la hora en que salía de su casa, situada en el número 112 de la calle de Mercer, para recorrer a pie aproximadamente dos kilómetros de distancia que le separaba del Instituto. Con frecuencia le acompañaba Kurt Gödel, que vivía algo más lejos y pasaba por casa de Einstein para recogerle camino del trabajo. Una vez en el Instituto, Einstein se reunía con sus ayudantes para debatir las ideas que, en aquel momento, parecían más prometedoras. Se dedicaban a examinarlas durante un par de horas, al cabo de las cuales Einstein solía volver a su casa para comer, y después trabajaba a solas. Si en el transcurso de la tarde descubría algo interesante telefoneaba a alguno de sus ayudantes para darle la buena noticia. Ésta, naturalmente, era siempre un paso en falso, porque lo cierto es que Einstein nunca acertó a dar con su teoría de campos. De sus últimas ecuaciones sobre este tema, hechas unos pocos meses antes de su muerte, Einstein dijo: «A mi modo de ver, la teoría que presentamos aquí es la teoría relativista de campos más sencilla posible. Pero esto no significa que la naturaleza no pueda seguir las normas de una teoría de campos más compleja».

El Instituto de Estudios Avanzados fue, a fin de cuentas, un lugar de éxito y fracaso para Einstein. Él quería ir más allá del desorden de la mecánica cuántica y encontrar una realidad más estable bajo la superficie de los fenómenos observados, y en esto, por lo menos, tuvo éxito parcial: la paradoja Einstein/Podolsky/Rosen sigue teniendo su propia vigencia hoy en día. Quiso unificar la gravedad y el electromagnetismo, y en esto, sin duda alguna, fracasó. Quiso

instalar en la tierra un gobierno mundial capaz de garantizar la paz, y en eso tampoco tuvo éxito. Gran parte de los últimos años de Einstein estuvieron dedicados a la redacción de folletos políticos abrumadoramente pesados y monumentalmente ingenuos, pero, de todas formas, él nunca pensó que la política fuera importante. En una ocasión, paseándose por el jardín del Instituto con su ayudante Ernst Straus, Einstein comentó: «Sí, tenemos que dividir nuestro tiempo de esta manera, entre nuestra política y nuestras ecuaciones. Pero para mí las ecuaciones son mucho más importantes porque la política sólo tiene importancia actual. Una ecuación matemática, en cambio, dura eternamente».

Einstein, por supuesto, era tan platónico como cualquiera de los miembros del Instituto. El mundo verdadero existe, cierto, pero la vida de la mente lo desborda, y en esto es en lo que consistía, a fin de cuentas, su ciencia. «Estoy de acuerdo con Schopenhauer en que uno de los motivos más fuertes que llevan al hombre a sumirse en el arte y la ciencia es escapar de la realidad cotidiana, con su penosa crudeza y su espantosa monotonía, de las cadenas de nuestros deseos, siempre cambiantes. El carácter delicadamente afinado anhela escapar de la vida personal y refugiarse en el mundo de la percepción objetiva y el pensamiento».

Después de su muerte los fotógrafos irrumpieron en la habitación 115 del Instituto de Estudios Avanzados para sacar las famosas fotografías, esas fotografías del caótico y atestado despacho de Einstein tal y como éste lo dejó para ingresar en el hospital. La silla

del gran hombre está vacía, y la habitación tiene todo el aspecto de una pieza de museo.

Sin embargo, no lo es; después de que Einstein la abandonara la ocupó durante diez años el astrónomo Bengt Strömgren, quien inauguró el programa de astrofísica del Instituto. No hay pruebas de que a Strömgren le intimidara en absoluto la idea de que el fantasma de Einstein pudiera estar mirando por encima de su hombro. Después del regreso de Strömgren a Dinamarca, el despacho de Einstein pasó al matemático Ame Beurling, quien todavía sigue allí.

A Beurling le encanta el despacho de Einstein, sobre todo al final del día, cuando el sol, bajando hacia el horizonte, reluce a través del gran mirador del fondo de la estancia. Es entonces cuando tres rayos semejantes a dedos irradian desde la ventana, inundando los rincones más apartados con el objeto mismo del más auténtico amor de Einstein, la luz.

### Sección 3

#### El grande, alto, excelso soberano místico

Enero de 1978. Un frágil viejo vestido con ropa de hospital está sentado en una silla en el Hospital de Princeton. Sus ojos profundos y hundidos miran a través de las gruesas gafas redondas el atardecer de invierno. El hombre es débil y delgado, y no debe de pesar más de cuarenta kilos. A lo largo de su vida ha entrado y salido de muchos hospitales y sanatorios y consultas de médicos, por causa de neurastenias, depresiones, muchas dolencias imaginarias y unas pocas verdaderas. Siempre retraído y tendente a la reclusión, pasa por ser un hombre sumamente extraño entre quienes le conocen; algunos dicen que ha sido mentalmente inestable desde su niñez. Este paciente tiene problemas de vejiga, pero ha rechazado cualquier clase de tratamiento a pesar de lo que le dicen por lo menos dos urólogos. No es ésta, sin embargo, la razón de su delgadez. La verdad es que Kurt Gödel, el lógico más importante de su tiempo, probablemente el más importante desde Aristóteles y una de las figuras de más renombre del Instituto de Estudios Avanzados, un hombre que sólo a Einstein cede la primacía, se niega desmoralizadamente a comer. Gödel está convencido de que la comida que le dan está envenenada y de que los médicos quieren matarle.

Marzo de 1982. Lo único que quería John Dawson era conseguir ejemplares de algunos de los artículos no publicados de Kurt Gödel. Dawson era matemático de la Universidad del Estado de Penn y

había escrito repetidas veces al Instituto —a Harry Woolf, el director, y a Atle Selberg y Deane Montgomery, del Departamento de Matemáticas— pidiéndoles ejemplares de diversas cosas, pero siempre había recibido la misma respuesta: los artículos de Gödel están sin catalogar, de modo que no podemos permitir que nadie los toque, lo sentimos mucho, etc. Pero Dawson siguió insistiendo y se propuso continuar molestando a la gente del Instituto de manera sistemática. Después de todo Gödel era a las matemáticas lo que Einstein a la física. No se podía dejar que la obra de toda una vida de un hombre como Gödel, su Corpus intelectual, se pudriese poco a poco en algún sótano donde acabaría desapareciendo en las nieblas del tiempo.

Pero un buen día, de manera completamente inesperada, Dawson recibe una llamada telefónica de Armand Borel, del Instituto. Borel es uno de los matemáticos de nuestro tiempo, bastante imponente, y resulta algo intimidante hablar con él. Pero, después de todo, lo único que dice Borel esta vez es: Ya que el Instituto está interesado en catalogar los artículos de Gödel —la expresión exacta es «archivar»—, y como usted también se interesa personalmente por ellos, bueno, pues eso, ¿por qué no viene usted aquí y los hojea para ver si le apetece encargarse del trabajo?

Esto fue una gran sorpresa para Dawson. Sin embargo, una semana más tarde le vemos ya en el sótano de la biblioteca del Instituto esperando que una secretaria le abra la puerta de una de las jaulas del archivo, protegidas con red metálica gris, donde se guardan todos los artículos de Gödel. Dawson siente grandes temores en este

momento, después de todo está a punto de ver los escritos particulares más íntimos de un hombre cuya vida es casi completamente desconocida. A pesar de ser el autor de uno de los más famosos teoremas de lógica y matemáticas, nadie parece saber absolutamente nada sobre Kurt Gödel como persona. Su caso era el más opuesto que cabe al de Einstein, sobre quien todo el mundo, de grado o por fuerza, parecía saberlo todo, como si ello formara parte de la educación primaria: los niños crecían sabiendo que Einstein nunca llevaba calcetines, que en su casa no había, al parecer, un solo peine, que tocaba el violín, y todo lo demás. Las anécdotas personales que se contaban sobre Einstein no tenían fin. Pero Gödel era un caso completamente distinto: ¿quién era?, ¿de dónde procedía?, ¿qué aspecto tenía? Ni siquiera John Dawson, que, como Gödel, era matemático profesional, sabía nada de él, y le costó mucho trabajo averiguarlo.

«La verdad era que parecía saberse muy poca cosa sobre él. Recuerdo lo muchísimo que me costó —antes de que fuera al Instituto— averiguar la información más elemental, por ejemplo: si había estado casado, si tenía hijos y cosas así. ¿Y por qué no puedo averiguar estas cosas?», se preguntaba Dawson, después de todo no era más que información básica.

Había rumores, naturalmente: que Gödel era un hipocondríaco, que solía llevar varios jerséis y chanclas de goma en los días más calurosos de julio, cosas así, pero era muy difícil comprobarlo, y casi imposible encontrar nada sobre ello en letras de molde. Ni siquiera la obra de Douglas Hofstadter titulada *Gödel, Escher, Bach*,



un tomazo increíble de setecientas páginas, en el que se explica el teorema de Gödel y su importancia para el arte, la música y la trayectoria futura de la civilización occidental, dice absolutamente nada sobre el hombre como tal. Aunque sus descubrimientos constituyen el eje intelectual de este libro su autor se identifica en el texto simplemente como «K. Gödel».

Así pues resulta perfectamente comprensible que John Dawson se sienta un poco emocionado al ver a la secretaria acercarse con la llave a la jaula del archivo y abrir la puerta ante sus ojos. Los artículos de Gödel están allí mismo, contra la pared. A pesar de la oscuridad se ve bastante bien. Hay dos archivadores altos, y luego montones y montones de cajas de cartón... Unas sesenta, y están amontonadas, hilera tras hilera, ocupando todo el ancho de la habitación, hasta una altura de dos metros.

John Dawson se pregunta: ¿Qué puede haber en todas estas cajas? De Kurt Gödel se podrá decir lo que se quiera, pero el hecho es que en el Único y Verdadero Cielo Platónico él era el auténtico mandamás. Y no porque tuviera poder o autoridad especial allí, más bien lo contrario. Estaba marginado, le habían pasado por encima, y la mayor parte del tiempo se hacía caso totalmente omiso de él, tanto por parte de los administrativos como de los demás profesores. Habían pasado veinte largos años entre su primera aparición en el Instituto, en 1933, y su nombramiento como profesor en 1953, intervalo que nadie ha igualado antes ni después. Gödel era el mandamás de la única manera que realmente importaba en el Instituto, o sea, intelectualmente, y utilizamos la

capacidad de abstracción como baremo de esta clasificación. El Instituto, al fin y al cabo, es el hogar de la teoría, y cuanto más abstracta sea la teoría, tanto mejor; rigiéndonos por este criterio Gödel era el vencedor con gran diferencia. En primer lugar, se había preparado como matemático, y la matemática es la más etérea y abstracta de las ciencias, porque se ocupa de cosas —por ejemplo, números, formas, relaciones abstractas— que no existen como tales en el mundo real. El número no es perceptible, no es algo que se pueda ver, oír, coger con la mano. Cinco manzanas, cinco personas, cinco caballos se pueden ver, pero nadie ha visto el número cinco. Bueno, sí, se puede ver la *cifra* cinco, el «5», pero ése no es el auténtico cinco. No es más que una expresión escrita, un símbolo que *representa* al número cinco. Y lo mismo cabe decir de las formas geométricas: triángulos, círculos, esferas. Tampoco son visibles. Es cierto, por supuesto, que se puede dibujar un triángulo, pero eso no es un *auténtico* triángulo; no es más que la *representación pictórica* de un triángulo. Los verdaderos triángulos geométricos —hechos con líneas de perfecta rectitud y grosor nulo— no existen en ninguna parte de la superficie terrestre.

Pero esto no quiere decir que no existan en absoluto. Números y objetos geométricos existen en la mente (porque en este momento estamos pensando en ellos), pero no pueden existir *únicamente* en la mente. Existen también en otros sitios. Si los números no fueran más que conceptos mentales los podríamos cambiar a nuestro antojo. Pero lo cierto es que de ellos no se puede cambiar nada en absoluto. Los números son rígidos, inflexibles, y sus propiedades

permanecen inalterables por mucho que tratemos de cambiarlas. Dos y dos serán eternamente cuatro, se sume lo que se sume. En opinión de Gödel esto se explica por el hecho de que —aun cuando no se les pueda encontrar en la naturaleza— tanto los números como las líneas y las demás entidades matemáticas tienen *en realidad* existencia objetiva. «Las clases y los conceptos pueden... ser concebidos como objetos reales», dijo Gödel, «existentes de manera independiente de nuestras definiciones y de nuestras construcciones. Yo diría que el supuesto de estos objetos es tan legítimo como el supuesto de los cuerpos físicos, y que hay exactamente la misma razón para creer en su existencia».

Todo lo cual significa que Gödel era platónico en el sentido más descarado, explícito y literal de este término. Él pensaba que los objetos matemáticos —números, conjuntos, estructuras geométricas— existen realmente y de hecho. Gödel nunca dijo con exactitud *dónde*, nunca *dijo* en realidad que existían allá arriba, en el Cielo Platónico, pero también es verdad que no le fue necesario decirlo, porque ¿en qué otro sitio podían estar? Y, además, ponerse a decir una cosa así —o sea, que los objetos matemáticos existen en otra dimensión— no se consideraba del todo aceptable ni siquiera entre los demás platónicos del Instituto de Estudios Avanzados. Al fin y al cabo hay cosas que es mejor no decir. Y Kurt Gödel ya se había aislado bastante, y se atisbaba en él una locura latente y al acecho. «Lo mío es el trabajo solitario», solía decir, «lo que me interesa es la existencia objetiva de los objetos matemáticos». Por eso mismo no tenía necesidad de decirlo, pero no por ello es menos

cierto que Gödel, más que ningún otro miembro del Instituto, era un devoto creyente en el Mundo de las Formas.

La única vez en que Gödel bajó del gran aislamiento del Cielo Platónico para considerar la naturaleza del mundo físico, lo hizo para negar la realidad del tiempo y el cambio. Ahora bien, pensar en el tiempo no permite adentrarse mucho en el mundo de las cosas, al menos en un principio: el tiempo es ya de por sí un fuego fatuo nebuloso e insustancial, tan invisible como los números o las formas abstractas. Einstein, en realidad, ya había prescindido de la idea de la simultaneidad, que hacía el tiempo más arcano e irreal todavía de lo que ya parecía ser. Pero Gödel recorrió el resto del camino al sugerir que el tiempo no existía realmente en un sentido objetivo. Es decir, no está en el mundo; es, simplemente, nuestra manera especial, nuestra peculiar manera humana de percibir el mundo.

Así pues los números son reales, pero el tiempo no lo es. Con ideas como ésta, ¿puede acaso haber duda alguna de que Gödel tenía que subir a la cima misma —al estado verdaderamente más elevado, al auténtico pináculo— de la jerarquía intelectual invisible e inefable existente en el Instituto de Estudios Avanzados? Es perfectamente natural, en consecuencia, que Gödel, dominando la situación desde su posición de Gran Aislamiento, adquiriera fama de enigmático y se rodeara de un halo de misterio. Y muy lógico que llegara a ser considerado tan completa y profundamente profundo como si cada una de sus palabras, miradas o gestos contuviese algún sentido inefable, casi como si fuese un mensaje del más allá.

Rudolf Rucker, matemático, visitó a Gödel en el Instituto en 1972. «Escuchándole», dice Rucker, «me daba la sensación de una comprensión perfecta. Él, por su parte, era capaz de seguir cualquiera de mis secuencias de razonamiento hasta el final casi en cuanto yo la comenzaba. Entre su risa, extrañamente informativa, y su comprensión, prácticamente instantánea, de cuanto yo decía, una conversación con Gödel era algo muy parecido a la comunicación telepática directa».

De modo que ya lo ven ustedes. «Perfecta comprensión...», «risa informativa...», «comunicación telepática». ¡Naturalmente!, ¿y por qué no? Al fin y al cabo no estamos hablando de un hombre, de un simple mortal, estamos hablando del Emperador de las Formas, del Grande, Alto, Excelso Soberano Místico.

Abajo, en el sótano de la biblioteca, John Dawson pasaba los dedos por las últimas huellas que quedaban de Kurt Gödel. «Era exactamente como un saqueo. Fue una experiencia extraordinaria. Abriría algún sobre a voleo, preguntándome: *¿qué podrá haber aquí dentro?* La verdad es que fue de lo más emocionante».

Encontró libros, diarios, manuscritos e innumerables testimonios personales de todo tipo, como fotografías de familia, facturas de la ropa, contratos de alquiler de apartamentos, facturas de la limpieza de la casa, todo lo imaginable, cualquier cosa. «Había un sobre lleno de recibos de su boda, hasta la cuenta de un vaso de cerveza. Facturas del carbón de cuando vivía en Viena, mes tras mes de facturas de las cosas más cotidianas, tarjetas de la biblioteca..., era increíble».

Y lo más increíble de todo eran esos cuadernos llenos, página tras página, de escritura ininteligible. No era aquél un idioma que John Dawson hubiera visto jamás; hasta el alfabeto le resultaba desconocido. Y aquellas extrañas figuras curvas y zigzags y puntos... ¿Qué podrían querer decir? Dawson, la verdad, no lo sabía.

Pero no podía dejarlo. Tomó la decisión de catalogar los artículos y testimonios personales dejados por Kurt Gödel. Dawson era un hombre de ciencia, y los hombres de ciencia están para hacer descubrimientos. Quizá entonces pudiera descifrar tan extraños documentos. Quizá diera con la clave de una pregunta que aún seguía sin respuesta. *¿Quién era Kurt Gödel?*

Gödel nació el 28 de abril de 1906 en lo que ahora se llama Brno, en Checoslovaquia, y fue bautizado en una congregación alemana luterana de la localidad. Tomó la religión muy en serio y parece ser que nunca perdió su fe en Dios, lo que desconcertaba a sus colegas del Instituto. Se pensaba que Gödel había escrito un artículo sobre la existencia de Dios —una formalización del llamado Argumento Ontológico—, pero ciertos miembros permanentes del Instituto no tenían ningún interés en que Dawson lo encontrara. «Pienso que temían que ese artículo, de la forma que fuese, resultase perjudicial para Gödel», dice Dawson. «Tenían miedo de que fuera la prueba de que estaba mal de la cabeza, o algo parecido».

Bueno, de eso ya tenían pruebas sobradas. Gödel siempre había sido un hipocondríaco, hasta de niño. Cuando tenía seis o siete años sufrió un ataque de fiebre reumática que le ocasionó muchos

dolores y le dio el susto de su vida. Esta enfermedad es causa frecuente de complicaciones cardíacas, y Gödel quedó convencido a partir de entonces de que su corazón no iba bien, de que se hundiría como un barco y moriría a poco que dejase de conservarse lo suficientemente abrigado para no tener nunca frío y de comer exactamente como le convenía. Era curioso e inquisitivo y siempre estaba haciendo toda clase de preguntas. Sus padres le llamaban *Herr Warum, El señor Por qué*.

En 1924 Gödel ingresó en la Universidad de Viena, donde tenía la intención de graduarse en Física. Sin embargo quedó impresionado por las lecciones del teórico de números Philip Furtwängler y cambió su especialidad por la de Matemáticas. Tímido como era en sus tiempos de estudiante, se hizo muy popular fuera de clase porque siempre ayudaba a todo el mundo con los deberes de matemáticas.

El principal maestro de Gödel, Hans Hahn, dio a conocer a su estudiante al famoso Círculo de Viena, un grupo de intelectuales entre quienes estaba el mismo Hahn, el economista Otto Neurath y el físico Philipp Frank. A partir de 1907, estos hombres solían reunirse los jueves por la noche en cafés cercanos a beber cerveza, fumar puros y discutir; todos ellos profesaban el mismo amor por la ciencia y el método científico. Mientras sus bocks se vaciaban y el humo de sus puros se elevaba hasta las vigas del techo, aquellos hombres se preguntaban por qué razón el método científico no podía ser aplicado a todo, por qué no podía ser extendido a la totalidad del conocimiento humano. Cuando Gödel se unió a ellos, en 1926, el

grupo se reunía en una sala para seminarios de la Facultad de Matemáticas de la Universidad de Viena, donde aquellos jóvenes se dedicaban a forjar una nueva filosofía de la ciencia, una colección de doctrinas que, desde entonces, se conoce por el nombre de «positivismo lógico». Basado en el llamado principio de la verificación, el positivismo lógico sostiene que, para tener sentido, una afirmación ha de ser verificable por experiencia sensorial. Si no se puede retrotraer un concepto a algo visible, audible o tangible, ese concepto carece de validez, esto es, carece de sentido. El primer concepto que tuvo que desaparecer, naturalmente, fue el de la divinidad, descartado sin más como pura retórica metafísica.

A Gödel esas conversaciones le fascinaban —esta gente, pensaba él, por lo menos se daba cuenta de cuáles eran las cuestiones básicas—, pero no le era posible aceptar sus teorías. A la edad de diecinueve años Gödel había adoptado ya su actitud platónica ante las matemáticas: había llegado a la conclusión de que los números y otras entidades matemáticas eran tan reales como cualesquiera otras cosas existentes en el mundo. El hecho de que esas entidades fuesen invisibles a él no le parecía que tuviera la menor importancia. Tampoco se podían ver los átomos, pero su realidad estaba fuera de toda duda. Años más tarde, Gödel aseguraría que este platonismo metafísico —que él prefería llamar «objetivismo»— le había ayudado a establecer su teorema de completitud y a conseguir otros resultados en el campo de la lógica.

Aun cuando rechazaba el veto positivista a las entidades no vistas, Gödel sentía un interés excepcional por el principal tema científico

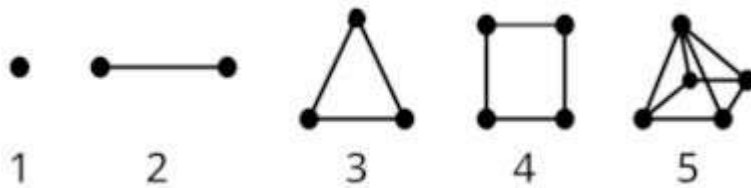


que se debatía en las reuniones del Círculo de Viena: las bases de las matemáticas. El problema era que esas bases estaban desmoronándose, y, durante algún tiempo, el edificio entero de las matemáticas parecía estar a punto de venirse abajo. Gödel no les fue muy útil en esto a los demás miembros del Círculo, y la verdad es que, lejos de reconstruir esos cimientos, lo que hizo fue demoler el edificio entero y arrojarlo al abismo, induciendo a los demás matemáticos —como, por ejemplo, al miembro del Instituto Hermann Weyl— a hablar de «la debacle de Gödel» y «la catástrofe» de Gödel. Indudablemente, lo que Kurt Gödel tenía que decir sobre bases de las matemáticas fue una verdadera sacudida para todos los matemáticos en activo. Y es que había percibido ciertas hendeduras, ciertas... fisuras en la bóveda del Cielo Platónico.

Para los no iniciados las matemáticas son el paradigma de la certidumbre, el modelo de la perfección racional y la verdad absoluta. Pero los matemáticos no tardaron en ver los peligros que conlleva esta forma de pensamiento. Desde sus comienzos como ciencia teórica, las matemáticas han tenido siempre su ración de inexactitud e incertidumbre. Más aún, algunos de los datos matemáticos más esenciales siguen siendo un enigma incluso hoy en día. Por ejemplo, el tema de la «inconmensurabilidad», descubierto en primer lugar por los antiguos griegos.

Pitágoras —el Pitágoras del famoso teorema— era jefe de una sociedad mística que aseguraba que el mundo se componía de números, creencia, por cierto, que no es tan fantástica como parece. Sus miembros consideraban los números espacialmente, como

puntos-unidades separados por distancias. El número uno es un solo punto, dos es una pareja de puntos que da nacimiento a una línea, tres puntos constituyen un triángulo, cuatro un cuadrado, y cinco una pirámide (véase la Figura 1).

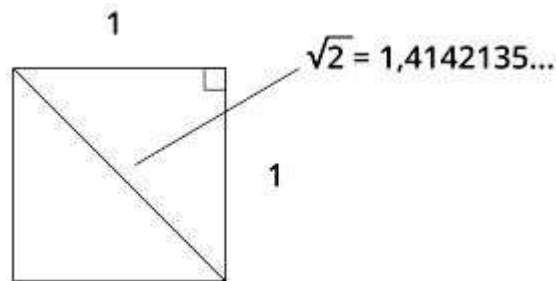


*Figura 1. Los enteros de Pitágoras.*

Los pitagóricos sostenían la reconfortante opinión de que las matemáticas constituyen el ejemplo supremo de racionalidad autónoma, absoluta y completamente lúcida, esto es, diferente del mundo corriente de transitoriedad y decadencia, algo así como un modelo de perfección inmutable. Cuál no sería, por tanto, su sorpresa cuando descubrieron que, escondido en lo más simétrico y equilibrado de todo esto, había algo inexacto, indeterminado, más aún, algo racionalmente incomprensible. Lo que habían descubierto era que la diagonal de un cuadrado no es mensurable con las mismas unidades que miden el lado.

Si cogemos una regla y medimos el lado de un cuadrado que tiene, pongamos por caso, 1 dm de longitud, veremos que, por mucho que lo intentemos, por muy sutilmente que dividamos las líneas de la regla, no nos será posible conseguir una medida exacta de la diagonal. La longitud de la diagonal estará siempre *entre* las finas líneas negras de la regla; y no en medio de dos de ellas, sino, más

bien, ligeramente desplazada. Esto resulta bastante irritable. Y lo mismo ocurre cuando de lo que se trata es de determinar la longitud del lado aritméticamente, utilizando enteros en lugar de unidades físicas de medición. Si tenemos un cuadrado cuyo lado mide 1, el teorema pitagórico  $a^2 + b^2 = c^2$  nos dice que la diagonal será la raíz del cuadrado de  $1^2 + 1^2$ , o sea, raíz del cuadrado de 2. Pero la raíz del cuadrado de 2 es 1,4142135..., y así sucesivamente, para siempre (véase la Figura 2). Dicho de otra forma, la raíz cuadrada de 2 no tiene un valor susceptible de expresión finita: es un número «irracional», lo que quiere decir que no puede ser expresado como entero o como el cociente de dos enteros. Esto también es bastante irritante, pero para los pitagóricos era mucho más que irritante, era un signo de que había algo en el mundo que iba muy mal, de que había una irracionalidad fundamental en el corazón mismo de la naturaleza.



*Figura 2. Inconmensurabilidad de la diagonal con el lado de un cuadrado.*

Para la magnitud de los misterios matemáticos, el problema de la inconmensurabilidad es bastante pequeño; en realidad nada

depende de él. Pero cuando surgieron dificultades del mismo tipo en la base misma del cálculo, los matemáticos se vieron ante una verdadera crisis. El cálculo es el método que se utiliza para tratar con «infinitésimos», trechos diminutos de tiempo o distancia. Supongamos, por ejemplo, que se quiere averiguar la velocidad de un objeto que cae, cuando pasa por cierto punto  $x$ . Como su velocidad irá en aumento a cada punto, no será suficiente contentarse con sacar el promedio de la velocidad al principio y al final de la caída, porque este valor, casi con completa certidumbre, no corresponderá a la velocidad exacta en el punto  $x$ .

Sería posible acercarse al valor exacto por el procedimiento de sacar el promedio de las velocidades un poco antes de llegar a  $x$  y un poco después de  $x$ : esto nos daría una información más aproximada aunque no sería la verdadera solución. Pero Leibniz y Newton, que coinventaron el cálculo, notaron que, si se iba reduciendo el intervalo hasta llegar *prácticamente a nada*, se podría llegar a la velocidad exacta en el punto  $x$ , que es, después de todo, lo que se quería averiguar. Lo único que hace falta es el cociente de una *distancia infinitesimal* recorrida,  $ds$ , dividida por el tiempo infinitesimal que se tardó en recorrerla,  $dt$ . La auténtica velocidad en el punto  $x$  será entonces  $ds/dt$ ,  $t$ , la derivada de  $s$  con respecto a  $t$  (véase la Figura 3).

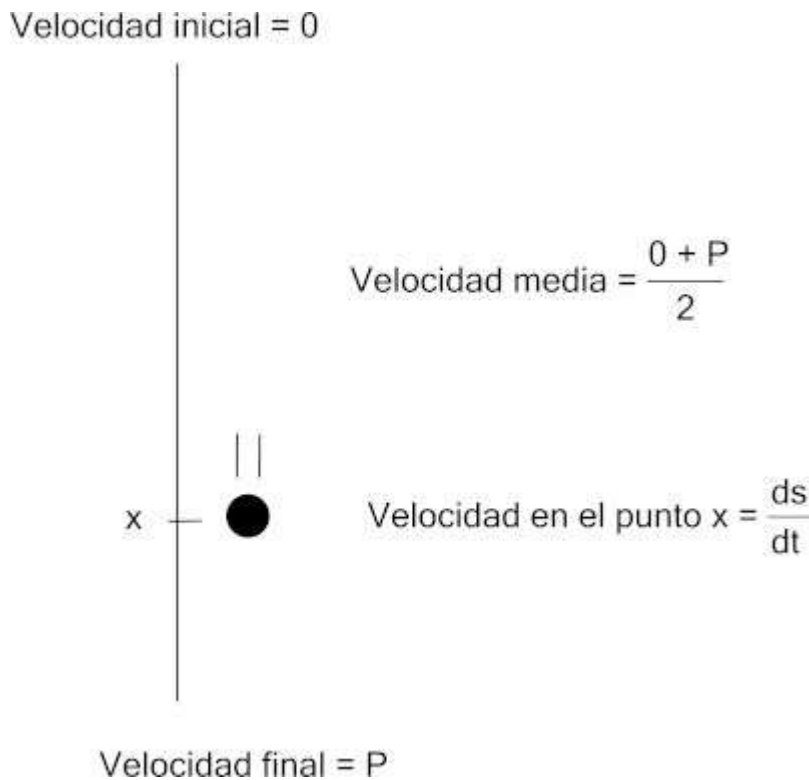


Figura 3. Cálculo de la velocidad de un objeto que cae, al pasar junto al punto x.

Hasta ahora todo va bien, pero ¿qué es eso que se llama «infinitesimal»? ¿Y en qué consiste eso de reducir magnitudes hasta llegar *prácticamente a nada*? En sus *Principia* Newton llamó a esas magnitudes infinitesimales cantidades «evanescentes», con lo que quería decir que desaparecen, es decir, que se van haciendo más y más pequeñas hasta que —como en un espectáculo de magia— se desvanecen por completo. «Por cociente último de cantidades evanescentes», dijo, «hay que entender el cociente de las cantidades no antes de que desaparezcan, ni tampoco después, sino aquel con el que desaparecen». Dicho de otra forma, los infinitésimos son el cociente de cantidades que, en cierto sentido..., *no existen*.

Leibniz, por su parte, calificó unas veces los infinitésimos de «imaginarios», y otras de «ceros relativos». Pero todo esto es bastante confuso y místico e indujo al filósofo George Berkeley a bromear: «El que sea capaz de tragarse (los infinitésimos)... no tendrá que andarse con remilgos, creo yo, ante ningún problema teológico».

Los infinitésimos eran ya bastante misteriosos de por sí, pero también tenían sus contrapartidas en el mundo de lo infinitamente grande. A finales del siglo XIX Georg Cantor estaba tratando de crear una nueva rama de las matemáticas llamada *teoría de conjuntos* cuando se vio ante una paradoja generada por el concepto de conjunto de todos los conjuntos. Un conjunto es, simplemente, cualquier colección de objetos. Los enteros pueden ser considerados como objetos, de modo que se puede formar un conjunto, como, por ejemplo (4, 7, 2, 3), formado por los números 4, 7, 2 y 3. Este conjunto lo mismo que cualquier otro, contiene muchos *subconjuntos*, o sea, conjuntos iguales o menores que él. (4) es un subconjunto, (4, 7) es otro, (7, 3) es otro, y así sucesivamente. Resulta, pues, que un conjunto que contenga cuatro elementos tiene dieciséis subconjuntos posibles, y, en general, un conjunto que contenga  $n$  miembros tiene  $2^n$  subconjuntos. Ahora bien, lo principal es recordar que cualquier conjunto contiene muchos *más subconjuntos que elementos*.

Pero ¿qué decir del conjunto de todos los conjuntos? Por definición contiene *todos* los conjuntos en tanto que elementos. Pero como un conjunto contiene más subconjuntos que elementos, la conclusión

evidente es que el conjunto de todos los conjuntos *contiene más subconjuntos que conjuntos*. Lo cual, naturalmente, es imposible.

Cuando Kurt Gödel era estudiante en la Universidad de Viena, los matemáticos habían llegado a la conclusión de que querían acabar para siempre con problemas de este tipo, borrarlos del universo matemático. Como dijo David Hilbert en 1925: «Lo que ya hemos experimentado dos veces, la primera con las paradojas del cálculo infinitesimal, y luego con las paradojas de la teoría de los conjuntos, no puede pasar una tercera vez, y no volverá a pasar».

En vista de ello los matemáticos tuvieron que enfrentarse con el problema general de los «fundamentos», es decir, con la tarea de aportar una base teórica para su disciplina, una base que garantizara que, a pesar de todas las paradojas, anomalías y aparentes imposibilidades, las matemáticas seguían siendo la fuente de la certidumbre, el epítome mismo de lo absoluto, la verdad comprobada que todos habían esperado que fuesen. Lo principal era demostrar que las matemáticas eran, cuando menos, *consistentes*, que no había contradicción alguna escondida en ningún lugar de sus alturas. También era preciso demostrar que las matemáticas eran *completas*, en el sentido de que podían resolver cualquier problema que surgiera en su interior.

David Hilbert en persona, de la Universidad de Göttingen, se puso a la cabeza de esta campaña. Considerado como el más grande matemático de su tiempo, Hilbert era un inveterado optimista. Estaba convencido de que todo saldría bien con tal que se le dedicase la suficiente cantidad de trabajo, y publicó artículos y

libros en los que explicaba la manera de rehacer los fundamentos para eliminar toda incertidumbre. Se hizo famoso por las estimulantes charlas con que levantaba la moral en los congresos matemáticos. «Todo problema matemático es susceptible de solución», declamaba, «todos nosotros estamos convencidos de esto. Después de todo, una de las cosas que más nos atraen cuando nos dedicamos a un problema matemático es precisamente que en nuestro interior siempre oímos la llamada: aquí está el problema, busquémosle una solución; ésta se puede encontrar sólo con el puro pensamiento, porque en matemáticas no existe el *ignorabimus* (nunca sabremos)».

¡Palabras por las que vivir! ¡Todo un manifiesto! La solución está ahí —se garantiza que está ahí— porque *todo problema matemático es susceptible de solución...*, porque en matemáticas *no hay ignorabimus*. Y lo mejor de todo es que se puede encontrar la solución sin experimentos ni aparatos, sin consultar de ninguna manera a la naturaleza, es decir, *se puede encontrar por medio del pensamiento puro*. Los matemáticos le escuchaban bebiendo sus palabras, encantados.

Hilbert, como es natural, tenía sus propias ideas sobre la mejor manera de demostrar esto, y tanto él como sus seguidores hicieron progresos muy rápidamente. Más aún, ya casi tenían resuelto el problema, ya casi tenían apuntalados los muros desmoronadizos del Cielo Platónico... cuando les ocurrió lo peor que cabe imaginar. Como lo explicó Gottlob Frege: «Justo cuando el edificio estaba rematado, los cimientos cedieron». Abajo de todo, minando los



cimientos de la piedra angular misma, estaba ni más ni menos que la figura reservada y tranquila de... Kurt Gödel. Y no blandía hacha ni martillo. Ni, aún menos, una gran bola de derribo. Más bien era como si hubiera estado dando golpecitos para comprobar la solidez del edificio con un martillito de madera, y de repente hubiera oído: *¡Justo, aquí es!*, un leve ruido indicando un hueco en el interior. ¡Y bien extraño que era el ruidito!

Gödel apresuró la «debacle Gödel» con su artículo de 1931, «On Formally Undecidable Propositions of *Principia Mathematica* and Related Systems», o sea: «Sobre proposiciones formalmente indecidibles de *Principia Mathematica* y sistemas afines». En este artículo, Gödel dejaba sentado que las matemáticas no son el sistema omnímodo y omnipotente que afirmaban Hilbert y otros. Decía, en realidad, que el proyecto de Hilbert era imposible en su conjunto, que *hay* cuestiones que surgen dentro de un sistema matemático que el sistema es incapaz de resolver; dicho de otra forma, que hay *ignorabimus*.

Para demostrar su afirmación, Gödel construyó una de estas proposiciones indecidibles dentro del sistema de lógica de *Principia Mathematica*. *Principia Mathematica* es una inmensa obra en tres volúmenes escrita por los matemáticos lógicos Bertrand Russell y Alfred North Whitehead, que esperaban demostrar con ella que toda matemática se podía derivar de unas pocas reglas de inferencia y de unos pocos axiomas lógicos. Tan omnímodos y extensos aparecían *Principia Mathematica*, decía Gödel, «que, en consecuencia, se podía conjeturar que esos axiomas y esas reglas de inferencia bastan para

decidir *cualquier* cuestión matemática susceptible de ser expresada formalmente en esos sistemas. Aquí demostraremos... que no es éste el caso».

Gödel compuso una proposición que, al contrario de todo cuanto se esperaba, *no podía* ser demostrada en el sistema en cuyo interior se expresaba. Y lo inteligente de esto era que la proposición indecidible de Gödel era el equivalente matemático de la afirmación: «Esta declaración es indemostrable». La proposición era realmente indemostrable, pero esto se debía precisamente a que era verdad: era una proposición verdadera cuya verdad no se podía demostrar.

Podría pensarse que aquello era el final de las matemáticas y que a pesar de todo lo que Hilbert llevaba años diciendo, y contra todo instinto de los matemáticos en activo, las matemáticas son, de manera inherente e insoslayable, imperfectas e incompletas. Era deprimente.

Algún tiempo después de la publicación, en 1931, del artículo de Gödel sobre lo incompleto de la ciencia matemática, Oswald Veblen invitó a Gödel a ir al Instituto de Estudios Avanzados a dar una serie de conferencias sobre su obra. Gödel aceptó y llegó a Nueva York el 6 de octubre de 1933. El Instituto había sido inaugurado precisamente cuatro días antes, con tres profesores: Alexander, Von Neumann y Veblen. Einstein estaba todavía en Europa.

El Instituto estaba instalado en el Fine Hall de la Universidad de Princeton, donde tenían el Departamento de Matemáticas. Era una fortaleza con anchos aleros, recién salida de la baja edad media. Por fuera parecía una iglesia, y por dentro un calabozo. Tenía largos

pasillos de piedra que salían de habitaciones con zócalos de madera oscura, todas ellas iluminadas —si es que se podía llamar iluminación a aquello— con apliques de hierro que parecían sostener una o dos débiles velas. El lugar era sombrío a más no poder, y daba la sensación de estar en la Casa de Usher<sup>1</sup>.

Los que iban allí a dedicarse a sus estudios avanzados, y estaban penetrados del espíritu de Fine Hall, recibían el nombre de «trabajadores». Uno de los primeros comunicados del Instituto, con fecha de febrero de 1934, afirma que «los trabajadores son, en su mayor parte, personas que recibieron el doctorado hace algunos años y se han dedicado a la enseñanza universitaria, habiendo publicado, al tiempo que ejercían esta actividad, artículos prometedores». Bajo el epígrafe «Trabajadores inscritos», el comunicado da veintitrés nombres, diecisiete de los Estados Unidos, y el resto —incluyendo a un tal Kurt Gödel— del extranjero.

Gödel dictó sus conferencias sobre lo incompleto de las matemáticas en el Instituto durante el semestre de primavera, y luego fue a Nueva York y a Washington para explicar conclusiones de trabajo a grupos científicos. A fines de mayo volvió a Europa, y más tarde, en el otoño de 1934, a la edad de veintiocho años, entró en el Sanatorium Westend, en las afueras de Viena, para curarse una depresión nerviosa. En parte, lo que le ocurría a Gödel era que estaba enamorado. Había conocido a una bailarina llamada Adele Nimbursky en un club nocturno de Viena y quería casarse con ella. El problema era que los padres de Gödel se oponían a ese

---

<sup>1</sup> Alusión a la famosa narración de Edgar Allan Poe sobre la que Debussy hizo una ópera que no llegó a terminar. (*N. del T.*)

matrimonio: nada de furcias de cabaret para su Kurtele. Y Gödel, siempre sumiso a la autoridad, obedeció a sus padres. Gödel adoptó esa actitud repetidas veces durante toda su carrera: Kurt Gödel, lógico inapreciable, intrépido destructor de la perfección matemática, se postraba ante cualquiera que estuviese dotado de autoridad institucional.

Deane Montgomery, que fue colega de Gödel en el Instituto durante muchos años, recuerda un caso típico: «Hará cosa de quince años tuvimos una gran discusión con el que era entonces nuestro director, Cari Kaysen, sobre la cuestión de nombrar a alguien para el Departamento de Ciencias Sociales. Gödel leyó muchos de los artículos de la persona propuesta y pensó que eran muy malos, pero malos de verdad, y lo mismo pensaron casi todos los demás profesores, de modo que todos votamos en contra. Pero Kaysen estaba decidido a nombrar a aquel sujeto, y los de la junta de administración lo apoyaban, de modo que el puesto le fue ofrecido al individuo en cuestión. Finalmente no entró en el departamento. Gödel había votado como todos los demás del profesorado, pero a mí me dijo que tenía que haber alguna explicación para que la junta de administración quisiera darle el puesto al sujeto en cuestión. “Quizá sepan de él cosas que nosotros ignoramos”, me dijo “quizás este hombre haya hecho trabajos de alto nivel para el gobierno de los que nosotros no sabemos nada”. Hubo muchos incidentes de este tipo, en los que, aun cuando estaba en desacuerdo con la autoridad, Gödel pensaba que, de alguna manera, ésta tenía que tener razón».

Otro matemático del Instituto, Atle Selberg, va más lejos todavía: «Gödel, en realidad, estaba literalmente convencido de que toda autoridad emana de Dios», dice, «para él la ley era una cosa sagrada. Es posible que no fuera cristiano en ejercicio en el sentido que no pertenecía a ninguna secta cristiana —probablemente habría encontrado alguna contradicción lógica en sus doctrinas—, pero creía en Dios y evidentemente creía profundamente que es de Él de quien emana toda autoridad».

En el otoño de 1935, o sea, cerca de un año después de su estancia en el Sanatorium Westend a causa de su depresión nerviosa, Gödel volvió a Norteamérica a pasar una nueva temporada en el Instituto. Seis semanas después de su llegada Gödel dimitió inesperadamente de su puesto alegando exceso de trabajo y depresión, y dos semanas después partió hacia Austria. A lo largo del invierno y la primavera de 1936 Gödel estuvo ingresado más veces en sanatorios, y no reanudó sus actividades eruditas y docentes hasta más de un año después, a comienzos del verano de 1937, cuando dio una serie de conferencias en la Universidad de Viena.

Dos años y medio después, en enero de 1940, Gödel y su mujer —había acabado casándose con Adele Nimbursky, la bailarina del club nocturno— cruzaron la Rusia central en el Transiberiano. Iban camino de Yokohama, donde tomarían el barco para San Francisco; la meta de su viaje era el Instituto de Estudios Avanzados.

En marzo de 1939, los nazis habían abolido los lectorados universitarios, creando en su lugar un puesto nuevo llamado *Dozent neuer Ordnung* (Docente del Nuevo Orden). Gödel se había quedado

sin trabajo, pero, como si esto no fuese bastante, había recibido también aviso del ejército nazi de que tenía que someterse a examen físico. De modo que ahí tenemos al tímido, al introvertido Gödel, que, a los treinta y dos años, era ya el más grande lógico del siglo XX, casado y sin trabajo en un piso de Viena y con la sensación apremiante de que si no tomaba rápidamente alguna medida pronto iba a estar marcando el paso de la oca por las llanuras nevadas con los demás soldados.

Hitler ya había entrado en Viena. Cuando Gödel recibió la cuenta de su mujer de la limpieza, Maria Gabriel, vio que debía *Reichsmark* 6.80 y, debajo, limpiamente escrito a máquina, se leía «¡Heil Hitler!». A Gödel no le gustaba nada todo esto, de modo que comenzó los trámites burocráticos necesarios para irse con su mujer a Estados Unidos. Los dos llegaron a la conclusión de que la travesía del Atlántico era demasiado peligrosa, por lo cual escogieron el largo rodeo por tierra: a través de Rusia, y luego por el Pacífico, hasta el continente norteamericano. Fue un viaje largo y fatigoso: salieron de Austria el 18 de enero y no llegaron a San Francisco hasta el 4 de marzo de 1940. Unos días más tarde Gödel llegó a Princeton, donde comenzó su fase de trece años como residente, hasta que, por fin, fue ascendido a profesor.

Después de su apresurada fuga del Tercer Reich, Gödel debió sentir más vivamente que muchos otros lo que había querido decir el fundador del Instituto, Abraham Flexner, al calificar al Instituto de «paraíso», de «refugio donde eruditos y hombres de ciencia pueden observar el mundo y sus fenómenos como si fuera su laboratorio,

sin dejarse llevar por el remolino de lo inmediato». Entonces el Instituto se había trasladado ya de su medieval Fine Hall al recién construido Full Hall, en los terrenos de Olden Farm. Cuando se instaló en su despacho del segundo piso, casi encima del de Einstein, Gödel tuvo que sentirse profundamente satisfecho de encontrarse allí. Había dejado el mundo real a sus espaldas para siempre.

O casi. En un relato sobre la vida y la obra de Gödel, el matemático Solomon Feferman cuenta que Gödel estuvo a punto de verse privado de la ciudadanía norteamericana. Para conseguirla, había que pasar por un examen oral; Gödel se dedicó a estudiar la Constitución de Estados Unidos y se dio cuenta de que, en fin..., de que había en ella unos cuantos problemas. Para empezar, su texto tenía varias contradicciones. Y luego, si se leía con suficiente atención, se veía enseguida que Estados Unidos podía ser transformado —dentro de la más estricta legalidad— en una dictadura. Explicó confidencialmente sus descubrimientos a su amigo Oskar Morgenstern, que le aconsejó no mencionar nada de ello en su examen oral de ciudadanía.

El 2 de abril de 1948, Gödel se presentó en las oficinas del gobierno, en Trenton, acompañado de Einstein y Morgenstern, que iban a hacer de testigos. Por el camino Einstein contó muchas historias y anécdotas para distraer a Gödel y hacerle olvidar los problemas lógicos de la Constitución norteamericana. Pero luego comenzaron los trámites.

—Hasta ahora ha sido usted ciudadano alemán... —comenzó el funcionario.

Gödel le corrigió inmediatamente: él era austríaco, no alemán.

—Bueno, muy bien —dijo el funcionario—, una dictadura siniestra, menos mal que eso no es posible en América...

—Al contrario —le corrigió de nuevo Gödel—, ¡yo sé perfectamente que sí puede ocurrir!

Al final, entre Einstein y Morgenstern consiguieron contener a Gödel lo suficiente para que aprobara el examen sin incidentes y pudiera prestar juramento como ciudadano de los Estados Unidos.

Gödel nunca tuvo mucho tacto ni fue muy experto en delicadezas sociales. En cierta ocasión, Hermann Weyl —el matemático que había hablado de «la debacle Gödel»— invitó al matemático Paul Lorenzen a pasar una temporada en el Instituto. Lorenzen había escrito artículos en los que trataba de remediar el daño causado por el bombazo de Gödel, y a Weyl estos artículos le gustaban mucho. «Veo que se han vuelto a abrir los cielos», le escribió a Lorenzen a propósito de ellos.

Por desgracia Weyl murió antes de la llegada de Lorenzen a Princeton, y, por esta causa, cuando Lorenzen apareció en el Instituto, fue Gödel quien le dio la bienvenida. Prácticamente lo primero que le dijo Gödel fue:

—Conozco su obra..., y la considero dañina.

Esto impresionó hondamente al pobre Lorenzen: «Ya comprenderá usted», explica, «que, desde entonces, he recordado esta frase exactamente como Gödel mismo me la dijo».



En otra ocasión Gödel asistió a una de las cenas de profesores que solía celebrar el Instituto una o dos veces durante el curso, y le tocó sentarse justo enfrente de John Bahcall, un joven y prometedor astrofísico. Los dos se presentaron el uno al otro, y Bahcall explicó que él era físico, a lo que Gödel replicó:

—Yo no creo en las ciencias naturales.

Por supuesto que no: las ciencias naturales son desordenadas e inexactas; no reflejan la inmutabilidad de los verdaderos objetos matemáticos. Bahcall comprendía, pero, a pesar de todo, la conversación entre ambos se hizo difícil aquella noche.

El principal proyecto científico de Gödel en el Instituto de Estudios Avanzados consistía en un examen del problema del continuo. Como Gödel mismo lo explicaba: «El problema del continuo de Cantor se reduce, simplemente, a esta cuestión: ¿Cuántos puntos hay en una línea recta en el espacio euclidiano? Una pregunta equivalente es: ¿Cuántos conjuntos diferentes de enteros existen? Esta pregunta, naturalmente, sólo podía surgir después de que el concepto de “número” se extendiera a los conjuntos infinitos».

Antes de que viviese Cantor, y, en realidad, remontándonos a los días de los antiguos griegos, los matemáticos negaban la existencia de cualquier clase de totalidad infinita. Lo infinito podía existir, pero sólo en potencia —a manera de proceso—, o sea que siempre se puede producir un número mayor añadiendo un uno a cualquier número. Como los unos nunca se agotarían, este proceso podría continuar interminablemente, con lo que se podía decir, en realidad, que en ese sentido los números eran «infinitos». A pesar de todo

nunca se podía tener delante un número infinito específico, porque cualquier número concreto era, por su propia definición, finito.

Cantor, sin embargo, estaba en desacuerdo con este razonamiento. «Yo me sitúo en cierta oposición a los puntos de vista más extendidos sobre la naturaleza del infinito matemático», dijo. Esto era quedarse corto. Cantor acabó postulando no un infinito, sino toda una serie de ellos, una jerarquía interminable de infinitos. Mientras algunos matemáticos consideraban esto pura locura, otros llegaron a la conclusión de que Cantor había abierto un nuevo y maravilloso universo matemático. Hilbert, por ejemplo, habló del «paraíso que Cantor nos ha creado».

Desde el punto de vista de Cantor no había razón alguna que impidiese tener delante un conjunto infinito. Después de todo, los matemáticos se servían constantemente de cantidades infinitas, aunque era posible que no se hubiesen dado cuenta de ello. Veamos, por ejemplo,  $\pi$ . Desde 1767 se sabía que  $\pi$  es un número irracional, lo que significa que ninguna expansión decimal finita da su valor exacto. A pesar de todo, *pi existe*: es sencillamente el cociente de la circunferencia de un círculo con respecto a su diámetro, de modo que si existen los círculos, y existen los diámetros, se sigue que pi tiene que existir por fuerza. El hecho de que no sea posible escribir todos los números de pi no tiene la menor importancia. Pi existe, por más que continúe indefinidamente.

Pero Cantor fue mucho más allá. Dijo que se podían tener conjuntos infinitos de *distintos tamaños*. El conjunto de los números

naturales, es decir, los enteros de que nos servimos para contar: 1, 2, 3, etc., no era más que *el más pequeño* de estos conjuntos. Además había una clase entera de conjuntos infinitos mayores, una colección de infinitos cada vez más grandes.

Ahora bien, para no perderse en todo esto, Cantor decidió designar los conjuntos infinitos por medio de símbolos especiales elegidos por él, basados en la primera letra del alfabeto hebreo alef:  $\aleph$ . Para designar el conjunto infinito más pequeño de todos, Cantor eligió el número cardinal alef-cero, o  $\aleph_0$ . Cantor dijo que dos conjuntos eran equivalentes si podían ponerse en correspondencia recíproca de uno a uno. De esta manera, ya que el conjunto de fracciones de unidad puede situarse en correspondencia de uno a uno con el conjunto de números cardinales, resulta lógico que los dos conjuntos sean equivalentes en número, estando ambos dotados de la designación  $\aleph_0$ :

1	2	3	4	5	...
↓	↓	↓	↓	↓	↓
1/1	1/2	1/3	1/4	1/5	...

Pero hay conjuntos infinitos mucho más grandes. Por ejemplo, entre dos números cualesquiera, digamos: entre 1 y 2, hay otro infinito entero compuesto de números decimales. Tenemos 0,25 y 0,26 y, entre ambos, 0,255 y 0,256, y, entre éstos, a su vez, 0,2555 y 0,2556, y así sucesivamente, sin fin. En realidad, entre dos números decimales cualesquiera hay un número infinito de

números decimales menores. Lo que quiere decir que los números decimales —todos ellos, considerando hasta números enteros, por ejemplo, 1,00, como decimales— constituyen un conjunto infinito con muchísimos más números incluso que todo el conjunto de los números enteros.

Ahora bien, esto puede parecer un juego de manos. Después de todo, si se tiene un surtido interminable de enteros, está claro que hay suficientes como para establecer una correspondencia de uno a uno con los números decimales. Si no es posible agotarlos, se diría que tiene *forzosamente* que haber bastantes.

Pero Cantor tenía una prueba de que no es así: demostró que hay demasiados números decimales como para poder establecer una correspondencia de uno a uno con el conjunto de enteros cardinales. Y esto lo demostró con su famoso «argumento diagonal». Veamos la sencilla disposición de números siguiente:

1	2	3
4	5	6
7	8	9

El número formado por la diagonal que va de arriba abajo y de izquierda a derecha nos da un número nuevo, 159, el cual —por lo menos en este caso— no está en la lista original. Pero Cantor descubrió que en el caso de cualquier combinación de números arbitrariamente grande hay una manera de construir un nuevo número diagonal que no estaba en la lista original. Utilizando este

método Cantor mostró que, en realidad, hay más números reales que números cardinales.

Supongamos que fuera cierto lo contrario, o sea, supongamos que los números reales *podieran* ser situados en correspondencia de uno a uno con los números cardinales. Limitando este argumento solamente a los números reales entre 0 y 1, podríamos comenzar a establecer correspondencias entre números cardinales y números reales de esta manera:

<u>Números cardinales</u>	<u>Números reales</u>
1	.0000000001234 ...
2	.3475869979787 ...
3	.9884666567576 ...
4	.7572574543298 ...
5	.6666666666666 ...
6	.0298847244656 ...
7	.5000000000000 ...
...	...
...	...
...	...

Imaginemos que esta lista continúa así indefinidamente, a lo largo de la serie completa de enteros. Como los enteros nunca se agotan, debiera haber suficientes como para permitir compilar la lista hasta el último de los números reales, por muchos que haya. Pero el argumento diagonal muestra que esta suposición es falsa. Veamos

el número formado por la diagonal en el caso citado líneas más arriba, a saber:

.0482640...

Y *cambiamos cada dígito* añadiendo simplemente un 1 a cada uno de ellos. De esta manera obtenemos un número nuevo  $n$ :

$n$  .1593751...

Ahora bien, resulta que este número nuevo no se encuentra en absoluto en la lista de números reales. La razón de esto es que  $n$  diferirá por lo menos en un dígito de cualquier número que ya estuviese en la lista. Observemos, por ejemplo, que

- el primer dígito de  $n$  difiere del primer dígito del primer número real; por consiguiente es distinto de él;
- el segundo dígito de  $n$  difiere del segundo dígito del segundo número real; por consiguiente  $n$  es distinto de él;
- el tercer dígito de  $n$  difiere del tercer dígito del tercer número real; por consiguiente  $n$  es distinto de él;
- y así sucesivamente.

Dicho de otra manera, si  $n$  es distinto de todos los números reales de la lista, se sigue que  $n$  no está en realidad en la lista que se supone que contiene «todos» los números reales. La consecuencia de esto es que, al contrario de la suposición original, no es posible

establecer una correspondencia de uno a uno entre los números enteros y los reales: ocurre que hay muchísimos más números reales que enteros con que numerarlos.

Ahora bien, el problema del continuo es la cuestión de si hay un conjunto infinito *mayor* que el conjunto de números naturales (los enteros), pero *menor* que el de los números reales. La pregunta es sencilla, y se podría pensar que también debiera serlo la respuesta. Cantor, por su parte, pensaba que la respuesta debiera ser que no, que *no* hay un conjunto infinito entre el «pequeño» conjunto infinito de enteros y el conjunto infinito «grande» de decimales. A esta opinión, o sea, que no hay un conjunto intermedio así, se le llama *la hipótesis del continuo*. Sin embargo Cantor no pudo demostrar esta hipótesis ni tampoco ha podido hacerlo ningún otro matemático.

En el Instituto de Estudios Avanzados, Kurt Gödel pasó muchos años tratando de resolver el problema del continuo. Como Cantor, nunca llegó a resolverlo, pero sí hizo algún progreso. Formuló un modelo matemático en el que la hipótesis del continuo se mantenía firme: mostró que, dados los axiomas de la «teoría de conjuntos standard» —tal y como la formularon Ernst Zermelo y Abraham Fraenkel—, la hipótesis del continuo podría ser añadida a modo de axioma extra sin que resultase de ello contradicción alguna.

Más tarde Gödel tomó como ayudante al joven matemático Paul Cohen. Cohen y Gödel trabajaron juntos en el problema del continuo durante dos años, y, poco después de irse del Instituto, Cohen hizo un descubrimiento extra. Utilizando una nueva estrategia de teoría de conjuntos desarrollada por él, a la que llamó

método de «compulsión», Cohen dejó sentado el resultado de que la hipótesis del continuo era *independiente* de los axiomas Zermelo-Fraenkel. De la misma manera que el postulado del paralelo es independiente de los otros axiomas de la geometría euclidiana —o sea, que no es demostrable por referencia a ellos—, Cohen mostró que la hipótesis del continuo no podría ser probada solamente sobre la base de los axiomas de la teoría de conjuntos. Gödel presentó la prueba de Cohen, en nombre de éste, a las *Actas de la Academia Nacional de Ciencias*, donde se publicó en 1963. Pero el problema del continuo sigue todavía en espera de una solución completa y final, una especie de broma en el panorama de las matemáticas teóricas.

El mejor amigo que tenía Gödel en el Instituto era Albert Einstein, se les veía con frecuencia pasear juntos, los dos solitarios capitanes olímpicos de sus disciplinas respectivas. Ninguno de los dos se relacionaba demasiado con el resto. De vez en cuando los matemáticos del Instituto se iban a la ciudad a comer juntos —en la Nassau Inn—, y Gödel, entonces, se relajaba un poco llegando incluso a contar algún chiste. De ordinario, sin embargo, Gödel se sentaba solo en el comedor del Instituto, tomándose una taza de té o comiendo una manzana. En un Instituto lleno de gente rara Gödel era el más raro de todos.

En algún momento, Einstein se las arregló para interesar a Gödel —que hasta entonces había sido un lógico matemático de la más pura estirpe— por la física, y, especialmente, por la teoría de la relatividad general. Un día, por casualidad, Einstein vio a Gödel en



la biblioteca matemática de Fuld Hall, y los dos se pusieron a hablar de ciertos problemas relacionados con la solución de las ecuaciones del campo gravitatorio. Gödel trabajó luego en esas ecuaciones y llegó a ciertas soluciones nuevas, según las cuales el paso del tiempo y, en consecuencia, la existencia de cambio en el mundo natural, podían considerarse como irreales e ilusorios. «Se diría», afirmó Gödel, «que se llega a una prueba inequívoca del punto de vista de los filósofos que, como Parménides y Kant, y los idealistas modernos, niegan la objetividad del cambio y consideran que el cambio es una ilusión o una apariencia debida a nuestro modo especial de percepción».

Gödel publicó los resultados de su trabajo en el terreno de la relatividad general en 1949 en un artículo titulado «An Example of a New Type of Cosmological Solutions of Einstein's Field Equations of Gravitation», o sea «Ejemplo de un nuevo tipo de soluciones cosmológicas de las ecuaciones de campo de gravitación de Einstein». Sus soluciones indican un «universo rotante», un mundo en el que la materia gira por doquier como en un vasto remolino cósmico. Esta rotación de la materia da lugar a trayectorias en el espacio-tiempo que se curvan sobre sí mismas, volviendo a lugares donde ya habían estado anteriormente. De esto se deduce que el tiempo no es una secuencia de sucesos en línea recta, sino algo que gira por el universo en línea curva. Se podría, por tanto, viajar de un punto a otro de la curva, pensaba Gödel, con sólo disponer de una nave espacial lo bastante rápida. «Haciendo un viaje de ida y vuelta en un cohete que describa una curva suficientemente amplia, sería

posible, en estos mundos, penetrar en cualquier región del pasado, el presente y el futuro, y volver».

Así que Kurt Gödel podía pasearse por las calles de Princeton pensando que el cambio es una ilusión..., que existen conjuntos infinitos de números en el Cielo Platónico..., y que es posible retroceder y avanzar en el tiempo. Con teorías como éstas es lógico que se le considerase completamente idóneo para ser profesor del Instituto.

En 1953, después de haber pasado trece años sin interrupción en el Instituto, Gödel fue ascendido a profesor de matemáticas. Algunos miembros del Instituto estaban irritados por tanta demora: «¿Cómo podemos ser nosotros profesores cuando Gödel no lo es?», preguntaba John von Neumann. Nunca se ha dado una explicación de por qué se tardó tanto. Según algunos era porque la administración quería hacer un favor a Gödel evitándole el tener que someterse a las responsabilidades que conllevaría ejercer como profesor; por ejemplo, participar en el gobierno del claustro, revisar solicitudes de ascenso o de ingreso temporal en el Instituto, y cosas por el estilo. La otra explicación era que Gödel, con su reverente temor a la autoridad, su mente legalista y su actitud en general anormal ante las cosas, obstaculizaría la buena marcha del Instituto. Quizás —Dios no lo quisiera— llegase incluso a encontrar contradicciones en los estatutos del Instituto.

Pero no ocurrió nada de eso; al contrario, Gödel tomó muy en serio sus nuevas responsabilidades, e incluso pareció coger cariño al trabajo extra que éstas le imponían. Solía escudriñar

interminablemente las solicitudes de ingreso en el Instituto. «Era difícil sacar a Gödel algo concreto sobre esa gente», dice Atle Selberg, «y, con frecuencia, ímprobo conseguir que nos devolviese la documentación».

Años más tarde Gödel se mudó de su despacho, en Fuld Hall, a la Biblioteca de Estudios Históricos, recién terminada. Se trata de un espléndido edificio, ganador de premios arquitectónicos, con cemento y cristal por todas partes. Pero si antes Gödel ya estaba desconectado, ahora quedó más desconectado todavía. La biblioteca está situada en el extremo más lejano del campus, y el nuevo despacho de Gödel tenía grandes paneles de cristal que iban del suelo al techo, proporcionándole una vista panorámica de un pequeño estanque, majestuosos árboles y, al fondo, los bosques. Esta vista induce en el observador una sensación de completa serenidad, de unión con la naturaleza. El mundo exterior parece no existir aquí en absoluto. No hay ruido, ni gente, ni problemas. Lo único que hay es silencio, y Gödel, y números.

Cuando se mudó a su nuevo despacho, Gödel prácticamente había abandonado sus publicaciones matemáticas. Revisó sus artículos anteriores, continuó su trabajo sobre la hipótesis del continuo, y se sumió en el estudio de las obras de Leibniz y Edmund Husserl. «Es curioso, lo poco que publicó», dice Paul Erdős, un matemático húngaro que solía visitar a Gödel en el Instituto; «yo siempre discutía con él. Estudiábamos mucho a Leibniz, y yo le decía: “Te hiciste matemático para que sea la gente la que te estudie a ti, no para que ahora te pongas tú a estudiar a Leibniz”». Pero en el

Instituto no había obligaciones —«no hay deberes, sólo oportunidades», decía Flexner—, y Gödel, como todos los que estaban allí, hacía lo que le venía en gana. Salía de su crisálida de vez en cuando para aceptar honores y distinciones o premios, pero con la misma frecuencia rechazaba invitaciones, alegando «mala salud». En su casa de Linden Lañe se dedicaba con gran placer a lecturas sobre teología y religión, y también sobre fantasmas y demonios.

Siempre preocupado con sus dolencias, reales o imaginarias, y famoso por su parquedad en la comida, Gödel fue palideciendo más y más, ajándose y pareciendo cada vez más frágil. Experimentaba nuevas depresiones, por cuya causa consultó dos veces al psiquiatra de Princeton Philip Erlich. Hubo incluso un momento en que estuvo a punto de solicitar su ingreso en un hospital psiquiátrico, y pidió consejo sobre ello a algunos de los demás matemáticos del Instituto. Uno le dijo que ingresara, otro que no, y acabó no haciéndolo.

Gödel fue a ver al doctor W. J. Tate, del grupo Médico de Princeton, en febrero de 1970, y le dijo que quería hacerse un electrocardiograma a fin de demostrar que necesitaba digital como tónico para el corazón. Alegó que estaba siendo tratado por otro médico de la ciudad que le había prescrito digitoxina, pero él pensaba que la digitoxina era tóxica, o sea, venenosa. Tate le convenció, o intentó convencerle, de que no era así ni mucho menos.

Durante el último mes, unos días después, Gödel concertó una consulta de una hora con el doctor Harvey Rothberg, un internista de Princeton, pero, en lugar de acudir a la cita, hizo dos llamadas telefónicas para debatir con gran detalle con la enfermera de Rothberg el tipo de análisis a que iba a ser sometido. Finalmente telefoneó por tercera vez para anular la consulta, alegando, dice Rothberg, «que había oído que hacía frío en mi despacho». Más tarde Gödel volvió a telefonear para pedir excusas. Concertó otra visita pero también faltó.

«Después de anular dos visitas», dice el doctor Rothberg, «y (después de) unas quince llamadas telefónicas, el paciente apareció por fin un buen día a las cinco de la tarde, que es la hora en que cerramos la consulta, sin cita previa, para discutir su problema».

Rothberg, así y todo, recibió a Gödel. En su archivo médico consta que, aunque medía un metro setenta de altura, Gödel no pesaba más de cuarenta kilos.

«Su pensamiento era algo paranoico», dice Rothberg, «y tenía ideas fijas sobre su enfermedad; mi impresión, por lo que al diagnóstico se refiere, es que había en él, evidentemente, una seria perturbación de la personalidad, con desnutrición secundaria y ciertas ilusiones somáticas: ideas inadecuadas sobre la estructura y las funciones de su cuerpo». Rothberg aconsejó a Gödel tomar ciertas vitaminas extra, y pensó que podría serle útil tomar una medicina psicotrópica.

Gödel concertó otra consulta a las dos semanas, más o menos, pero también la anuló. «Cuando, por fin, vino, varios días más tarde»,

dice Rothberg, «comenzó la conversación preguntándome si yo era el verdadero doctor Rothberg. No sé a ciencia cierta por qué razón tenía dudas sobre esto. Me dijo que había tomado la decisión de ver a un psiquiatra, y que ya tenía concertada una consulta con uno; luego me preguntó si había alguna ley contra la eutanasia».

En 1974 Gödel ingresó en un hospital por un problema de las vías urinarias relacionado con la próstata, y por lo menos dos urólogos, el doctor James Varney y el doctor Charles Place, le aconsejaron que se operase. Pero, a pesar de que su padre había muerto de una enfermedad de la próstata, rehusó hacerlo.

El 1 de julio de 1976, a la edad de setenta años, Gödel se retiró del Instituto de Estudios Avanzados. Había pasado allí treinta y seis años seguidos, habiendo sido antes miembro visitante. Su primera visita tuvo lugar al mismo tiempo, aproximadamente, que las de Einstein y Von Neumann y los demás miembros fundadores, y acabó sobreviviéndoles a todos. Gödel llegó a ser un símbolo del Instituto, pero el recuerdo más vivo que tienen de él los veteranos del Instituto es el de un viejo cadavérico que iba de un sitio a otro solo y arrastrando los pies, siempre con su abrigo negro y sombrero de invierno.

Al final de su vida Gödel estaba deprimido. Pensaba que había decepcionado al Instituto, que no había hecho lo suficiente. Stanislaw Ulam tenía la impresión de que, a pesar de la fama que había ganado con su teorema de indecidibilidad, Gödel sufría de «una incertidumbre corrosiva de que, quizá, al fin y al cabo, su

descubrimiento no fuese más que otra paradoja *à la* Burali Forte o Russell».

Un año después del retiro de Gödel, su mujer, Adele, hubo de someterse a una seria operación quirúrgica y pasó una temporada en un sanatorio particular. Esto fue el beso de la muerte para Kurt Gödel. Adele había cuidado de su marido durante todo este tiempo, dándole de comer cuando rehusaba alimento de cualesquiera otras manos porque decía que estaba envenenado. Con su mujer hospitalizada, Gödel tuvo que enfrentarse consigo mismo, y reaccionó ante esta situación negándose a comer, de modo que fue muriendo de hambre gradualmente.

El 29 de diciembre de 1977, Hassler Whitney, un colega de Gödel en el Instituto, llamó al doctor Rothberg por teléfono desde la casa de Gödel para decirle que el paciente estaba deshidratado y en estado preocupante. Whitney llevó a Gödel a la sala de urgencias del Hospital de Princeton, donde fue ingresado inmediatamente.

Gödel siguió negándose a comer y, después de dos semanas en el hospital, murió sentado en su silla en la tarde del 14 de enero de 1978. Según su partida de defunción, Kurt Gödel murió de «desnutrición e inanición, causadas por una perturbación de la personalidad». Adele, su mujer, murió tres años más tarde, y los dos están enterrados en el cementerio de Princeton. Kurt y Adele no tenían hijos, y el hermano de Kurt, Rudolf, cardiólogo retirado que vivía en Viena, murió soltero, de modo que la familia Gödel quedó sin sucesión.

John Dawson tardó años en pasar revista a las sesenta cajas de papeles y documentos personales de Gödel. Examinó y catalogó todos y cada uno de aquellos papeles, de modo que ahora cualquier estudioso puede ir a Princeton y seguir, hoja a hoja, la vida, milagros y obra de Kurt Gödel. Allí, carpeta tras carpeta — catalogados, sellados, numerados—, están los talonarios de cheques, los cheques cancelados, los pasaportes, las facturas de la luz de Gödel. Allí están todos los deberes —folios y folios de tablas de verdad— de uno de los estudiantes de Gödel, un tal F. P. Jenks, con fecha de mayo de 1934, cuando Gödel dictó un curso de lógica en Notre Dame. Allí tenemos una fotografía de Gödel en pijama y albornoz de baño, sentado en el cuarto de estar de su casa.

Se puede ver también el recibo de un librero, con fecha del 21 de julio de 1928, por un ejemplar de los *Principia Mathematica* de Whitehead y Russell, comprado por Gödel. Gödel tenía entonces veintidós años, y faltaban tres para que publicara su demoledor artículo sobre las «undecidable propositions of *Principia Mathematica* and Related Systems», y cabe preguntarse si tendría ya alguna idea, por vaga que fuese, del estrago que iba a causar con el libro que acababa de comprar.

Allí pueden encontrarse los recibos de la nómina del Instituto de Estudios Avanzados y diminutos libros de contabilidad donde se registran con gran pulcritud todos sus gastos, y también sus cuadernos, escritos con una letra desconcertante, extraña, curva. Dawson tardó mucho tiempo en descubrir lo que eran aquellos cuadernos. Son notas de Gödel sobre diversos temas, escritos con



una taquigrafía alemana anticuada llamada «Gabelsberger», nombre de su inventor, Franz Xaver Gabelsberger. Dawson descubrió una «piedra Rosetta»: el método de taquigrafía de Gödel y varios cuadernos de ejercicios taquigráficos, y hasta dio en Nueva York con un especialista en taquigrafía Gabelsberger, un fotógrafo llamado Hermann Landshoff. Aún llevará tiempo descifrar todas las notas de Gödel, porque son muchísimas, y además Gödel introdujo sus propias modificaciones en el sistema taquigráfico que había estudiado.

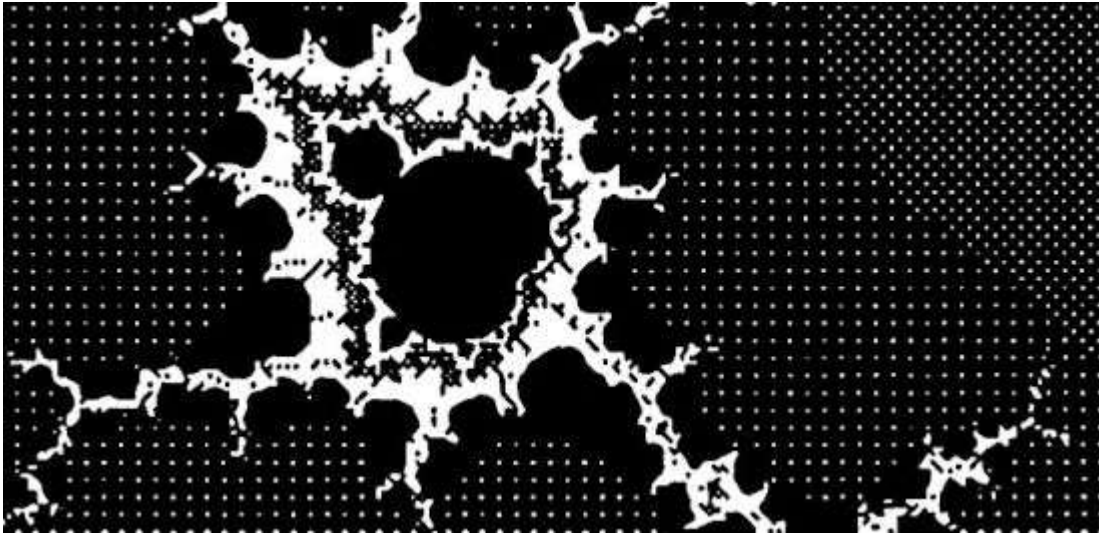
Hay una fotografía de Gödel en una piscina, y una instantánea de él bebiendo un vaso de cerveza. En algunas fotografías hasta se le ve sonreír. Y también hay carpetas y carpetas llenas de cartas y de manuscritos de otros matemáticos, de lógicos del mundo entero, cartas advirtiendo del envío de separatas de artículos de revistas científicas en los que se demuestra algún teorema, y cartas de todos los profesores adjuntos de matemáticas de Estados Unidos en las que se expresa la esperanza de que los ojos de Gödel se tomen la molestia de examinar los resultados de sus trabajos, y el deseo de un pequeño acuse de recibo aprobatorio del maestro, el más insignificante signo de aprobación del alto y solitario Dios todopoderoso de la lógica.

## Sección 4

### Contemplad las formas

¿Es una daga esto que tengo delante...? Sólo Dios sabe qué es esto. John Milnor está mirando con los ojos abiertos de par en par la pantalla de su ordenador, escrutándola hasta el fondo mismo, como si pudiera ver algo más allá de la superficie de cristal, hasta lo más hondo del intestino del aparato, hasta los mismos electrones que salen en torrentes del elemento emisor, el caliente cátodo que hay en su parte posterior. Milnor es el prototipo de profesor del Instituto, alto y delgado, tan alto casi como Gary Cooper. Su larga cabellera gris le cae a veces sobre los ojos cuando los tiene fijos en la pantalla.

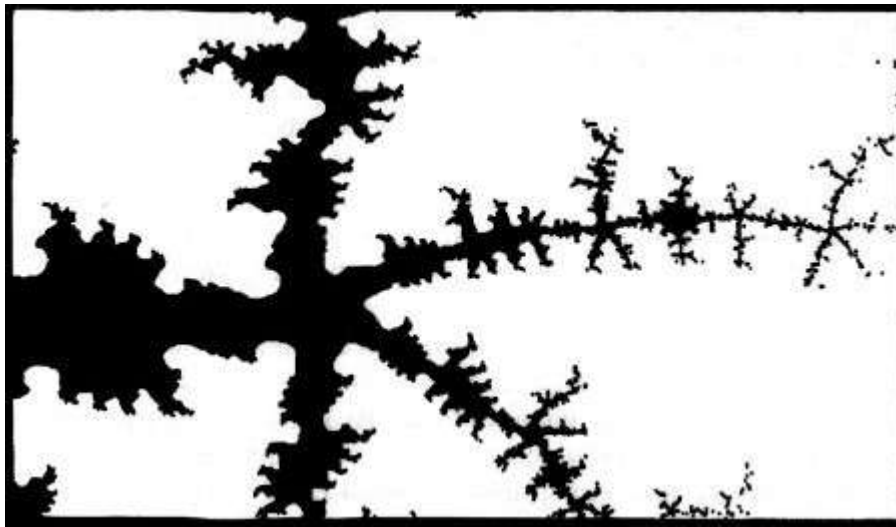
Está sentado ante el ordenador, la expresión sorprendida por la extraña *forma* negra. Parece una imagen de... *algo*... Bueno, sí, pero ¿de qué demonios? Sea lo que fuere, lo cierto es que tiene aspecto enfermizo, erizado de corcovas, de chichones, de toda clase de tallos y apéndices. Podrían parecer quizás estambres de flores, o un mapa de la red dendrítica del cerebro. O posiblemente sea una de esas galaxias «irregulares», o uno de esos racimos estelares anómalos que se ven en los libros de astronomía. Bueno, en fin, sea lo que sea..., de lo que no cabe duda es que se trata de algo... extraño, de algo completamente imposible de reconocer.



El caso es que John Milnor no es botánico, ni neurofisiólogo, ni astrónomo. Es matemático, y, más concretamente, matemático puro, absolutamente teórico, no uno de esos tipos que se dedican a la matemática aplicada a la tecnología y se pasan días enteros resolviendo problemas prácticos del mundo cotidiano, como, por ejemplo, elucidar la carga que soporta un puente colgante. No, nada de eso, John Milnor es un auténtico hombre del Instituto, tiene la cabeza en las nubes, y quien dice la cabeza puede añadir también todo lo demás. Pero, entonces... ¿qué diablos es eso que tiene ante los ojos, por Dios bendito?, ¿qué puede ser esa *cosa* sobrenatural, aterradora, que palpita y se estremece en el blanco y negro fosforescente de la pantalla?

Milnor teclea algo en el ordenador y la imagen, entonces, parece moverse, como si se acercara a él. La forma comienza a agrandarse, y ahora se cierne sobre Milnor, su negrura amenaza con tragarse la pantalla entera. A medida que va haciéndose más y más grande se ve que uno de los... tallos, o lo que sean..., tiene sujeto un filamento

en forma de zigzag como un rayo. La figura entera se hace más grande, y entonces..., entonces se distinguen filamentos más pequeños, más finos aún, sólo que tienen aspecto de cadenas interrumpidas en algunos puntos. Hay que hacer un esfuerzo para verlos; se hallan en el umbral mismo de la visibilidad, en el límite mismo de la capacidad del ordenador para reproducir una línea.



Milnor señala una de las cadenas:

«¿Veis este pequeño garabato?», pregunta, «bueno, pues si siguieseis agrandándolo veríais que en la pantalla había todavía más de estos pequeños filamentos, entrando y saliendo. Lo que trato de hacer es comprender su estructura, la conducta de todo este asunto».

Bueno, es una gran idea, digna, ciertamente, del esfuerzo. A mí, por mi parte, también me gustaría comprenderlo. Porque lo que se ve en la pantalla es una imagen..., pero no una imagen de algo que puede existir en este mundo, y tampoco es un «gráfico de ordenador», uno de esos paisajes falsos o naturalezas muertas creadas por

ordenadores que se ven de vez en cuando en las revistas satinadas de alta tecnología. No, esto es *real*, pero no de *este* mundo. El hecho es que esa forma que se ve allí colgando, flotando en el espacio electrónico de la pantalla, es un objeto matemático, una pura abstracción hecha visible. Es como un atisbo de las Formas mismas, una visión directa del Cielo Platónico.

Hace veinticinco años ningún matemático puro habría reconocido la imagen de la pantalla de Milnor. De hecho, hace veinticinco años no existía ese objeto. Hoy en día, sin embargo, se considera como «el objeto matemático más complejo que existe».

Cuando se abrió el Instituto, las matemáticas teóricas se ocupaban de entidades precisas y bien definidas: de cosas como los números, los trascendentes por ejemplo, o las funciones de una variable compleja. Hoy en día incluso la teoría de los números tiene gran importancia en el Instituto de Estudios Avanzados. No basta cualesquiera números, tienen que tener una cierta coherencia, un *orden*, como ocurre entre los números primos.

Los números primos son los que solamente son divisibles por sí mismos y por el número uno. El número 5, por ejemplo, es primo, porque no puede dividirse sin resto por otro número que el 5 y el 1. Hay muchos números primos, y resulta más fácil hacer la lista de unos pocos, los primeros:

2	3	5	7	11	13	17	19	23
29	31	37	41	43	47	53	59	61
67	71	73	79	83	89	97	101	...

Bueno, ¿y qué? No son más que números, ¿a qué viene la teoría de los números primos?

La cuestión es que los números primos constituyen nada menos que el andamiaje de los números enteros. Son la espina dorsal del sistema numérico, más o menos, como los elementos químicos que constituyen la base de la química. De la misma manera que cualquier sustancia compuesta se compone de uno o más elementos químicos, todos los números no primos se *componen* de números primos. Los primos son las unidades, los ingredientes primordiales irreducibles de todos los números enteros, dato éste que se ha convertido en el *teorema fundamental de la aritmética*, según el cual todo número entero superior a uno puede factorizarse en un conjunto único de números primos. El número 12, por ejemplo, es el producto de los números primos  $2 \times 2 \times 3$ , y no es producto de ningún otro conjunto de números primos. De la misma manera, 100 puede descomponerse en cuatro números primos:  $2 \times 2 \times 5 \times 5$ , pero en ningún otro. O sea que los números primos son, por así decirlo, los ladrillos, los ingredientes elementales de todo el resto del universo numérico.

Pero esto no es más que el principio. Parte del atractivo de los números primos está en que, aunque son simples, abundantes y fáciles de producir, resulta sumamente difícil obtener más conocimientos sobre ellos. ¿Existe un número primo máximo? ¿Hay alguna fórmula capaz de producir todos los números primos? ¿Son los números pares sumas de dos números primos? Después de

siglos de investigación teórica realizada por matemáticos puros sólo hay respuesta definida y demostrable a una de estas preguntas. Euclides demostró que no hay un número primo máximo.

Al no matemático la prueba de Euclides le puede parecer innecesaria: ¿qué motivo hay para pensar que *pueda* existir un número primo máximo? La respuesta a esto es que los números primos se van haciendo más y más raros a medida que se asciende en la serie de los números naturales. Los cuatro primeros números primos (2, 3, 5 y 7) están separados entre sí, todo lo más, por un solo número entero, pero a medida que los números van creciendo, el intervalo entre los números primos sucesivos crece también. Por ejemplo, después del 811 no hay otro número primo hasta el 821, a diez números enteros de distancia. Y con números más altos esos intervalos se hacen mayores incluso, de modo que entre los cien números enteros que hay entre 10.000.000 y 10.000.100 sólo tenemos *dos* números primos: 10.000.019 y 10.000.079. Y si seguimos sistema numérico arriba, entre las cifras colosalmente altas, hay verdaderos desiertos de números primos, un trecho de millón de números enteros sin un solo número primo entre ellos.

Echando una mirada retrospectiva vemos que la creciente rareza de números primos tiene un perfecto sentido. Cuanto más grande sea el número, tanto más numerosos son los números enteros menores que pueden dividirlo de manera exacta. Fue esto lo que indujo a algunos matemáticos a pensar que quizás exista un punto en algún sitio —muy arriba, en las partes altas de la serie numérica— en el que haya tantos números enteros menores que ya no se encuentre

ningún número primo nuevo. Es posible que, más tarde o más temprano, los números primos, pura y simplemente, se *agoten*.

Euclides, sin embargo, demostró que los números primos continúan eternamente. Se sirvió para ello de una estrategia que todavía usan hoy en día los estudiosos de la teoría de los números. Se llama reducción al absurdo. En esencia es así: se da por supuesto lo contrario de lo que se trata de demostrar, y entonces se deduce una contradicción de ese supuesto. Como las contradicciones no son posibles, la consecuencia es que el supuesto que dio lugar a esta contradicción tiene que ser forzosamente falso, y, por lo tanto, su contrario —la afirmación que se quería demostrar en un principio— tendrá que ser *verdadera*.

Euclides partió del supuesto de que *había* un número primo máximo. Supongamos, por ejemplo, que el número primo más alto es el 5 (insisto, supongamos). Si esto fuese cierto, se deduce que el conjunto (2, 3, 5) tendría que ser el conjunto de todos los números primos, y, en consecuencia, resultaría imposible producir uno más alto. Pero, naturalmente, hay uno más alto: para obtenerlo basta con multiplicar entre sí los ingredientes de ese juego: (2, 3, 5) y añadir uno al resultado. Dicho de otra forma, se coge  $(2 \times 3 \times 5)$ , cuyo resultado es 30, y se le añade 1, con lo que se obtiene 31. Ahora bien, 31 es número primo, porque si se divide por cualquier otro número siempre deja un resto. De modo que, contra el supuesto de que el número 5 es el más alto de los números primos, hemos podido construir un número primo más alto que 5.



Lo bonito de este razonamiento es que es reiterable, o sea, que se puede aplicar una y otra vez con *cualquier* conjunto de números primos, por elevado que sea. Así pues, si el número primo más alto fuese el 7, pongamos por caso, podríamos obtener un número primo más alto todavía multiplicando entre sí «todos» los números primos hasta el 7:  $2 \times 3 \times 5 \times 7$ , y añadiendo uno al resultado. Esto nos da 211, que es número primo.

En el ambiente enrarecido de la teoría numérica, todo esto se expresaría de forma abstracta:

*Lo que hay que demostrar:* No hay número primo máximo.

*Supuesto:* El máximo número primo es  $n$ .

*Prueba:* El supuesto no puede ser verdad, porque, de serlo, el conjunto  $(a, b, c, \dots, n)$  lo sería de *todos* los números primos. Sin embargo, multiplicando entre sí todos los elementos de ese juego y añadiendo uno al resultado, es decir, tomando

$$(a \times b \times c \dots \times n + 1)$$

obtendremos un número nuevo, al que llamaremos  $t$ . Pero  $t$  no es divisible sin resto por ningún número del conjunto de números primos  $(a, b, c, \dots, n)$ , ya que, dividiendo  $t$  por cualquier elemento de ese conjunto, siempre quedaría un resto de uno. De modo que, una de dos, o  $t$  es número primo, o tiene que haber otro número primo,  $p$ , más alto que  $n$ , que divide a  $t$ . En cualquiera de ambos casos  $n$  no podrá ser el número primo máximo, lo cual significa que no hay un número primo máximo.

Otras aportaciones relativas a los números primos resultaron tremendamente difíciles de demostrar o refutar. La de que cada número par es la suma de dos números primos no ha sido nunca demostrada, y es conocida por el nombre de «conjetura de Goldbach», ya que Christian Golbdach fue el primero que lo formuló, en 1742. De la misma manera, nunca se ha encontrado la receta para producir todos los números primos. Bien es verdad que hay fórmulas, con las que se consigue producir largas hileras de números primos. La fórmula de Leonhard Euler,  $x^2 + x + 41 = p$ , proporciona cuarenta números primos, uno tras otro. (Por ejemplo: cuando  $x = 1$ ,  $p = 43$ , que es número primo; cuando  $x = 2$ ,  $p = 47$ , que también es número primo). Sin embargo, de los primeros dos mil números producidos por el generador de números primos de Euler, solamente alrededor de la mitad resultaron serlo de verdad.

En la primavera de 1948, cuando estaba tocando a su fin su estancia de un año como miembro interino del Instituto de Estudios Avanzados, Atle Selberg, de treinta y un años de edad, estaba avanzando hacia la demostración de otra conjetura semejante, el llamado *teorema de números primos*. Selberg era noruego, se había doctorado en la Universidad de Oslo en 1943 y muy pronto iba a obtener un puesto en la Universidad de Syracuse, Nueva York. Pero en el verano de 1948, estando todavía en el Instituto, Selberg dio el paso final que necesitaba para completar la prueba. Fue un logro de primer orden, porque el teorema de números primos estaba esperando ser demostrado desde los tiempos de los matemáticos Karl Friedrich Gauss y Adrien Marie Legendre, quienes alrededor del

año 1800, trabajando cada uno por su lado, percibieron la relación existente entre la densidad de los números primos: es decir, su frecuencia a medida que se va subiendo por la escala de los números enteros, y una función logarítmica que rige el crecimiento y la caída exponencial. Gauss y Legendre observaron que, a medida que se iba subiendo en la escala de los enteros, el número de los primos tendía a converger hacia el número previsto por la función logarítmica:

<u>Enteros (<math>x</math>)</u>	<u>Cantidad de Números Primos</u>	<u>Cantidad Prevista por <math>x/\log x</math></u>	<u>Error</u>
1.000	168	145	16,0%
1.000.000	78.498	72.382	8,4%
1.000.000.000	50.847.478	48.254.942	5,4%

Dicho de una manera sencilla, el teorema de los números primos afirma que estas cantidades convergerán hacia un límite, que la diferencia entre ambas irá acercándose a cero. Se trataba de una coincidencia completamente inesperada, porque las dos progresiones numéricas parecían carecer por completo de relación mutua: en un lado de la tabla están los números primos con toda su falta de predecibilidad y su aparente azar; en el otro, una función logarítmica continua derivada directamente del cálculo. Era claro que ahí había alguna profunda relación no evidente pero la cuestión era: ¿se trataba de una relación auténtica o accidental? Y, al fin y al cabo, ¿cómo es posible demostrar una relación de este tipo?

Jacques Hadamard y C. de la Vallée Poussin aportaron pruebas del teorema de los números primos en 1896, pero sus pruebas eran extraordinariamente complicadas, y participaban en ellas variables complejas y análisis de ondas, cosas tanto más complejas que los propios números primos, hasta el punto que los matemáticos pensaron que tenía que haber forzosamente una demostración más sencilla.

Y ésta es la prueba que encontró Atle Selberg en el verano de 1948. Selberg redactó su argumentación con el título: «An Elementary Proof of the Prime-Number Theorem», y lo publicó el año siguiente en los *Annals of Mathematics*. La demostración de Atle Selberg no tiene nada de sencilla. El estudioso de la teoría de los números Ian Richards observa que la prueba puede muy bien ser técnicamente «elemental» en el sentido de que cada paso en sí es elemental. Pero son tantos los pasos, y la manera que tienen de encajar unos en otros es tan complicada, que la imagen resultante no es nada sencilla. Entretanto, el Departamento de Matemáticas del Instituto quería conservar a Selberg en él, pero había un problema de escalafón: ¿harían a Selberg miembro permanente o profesor titular?

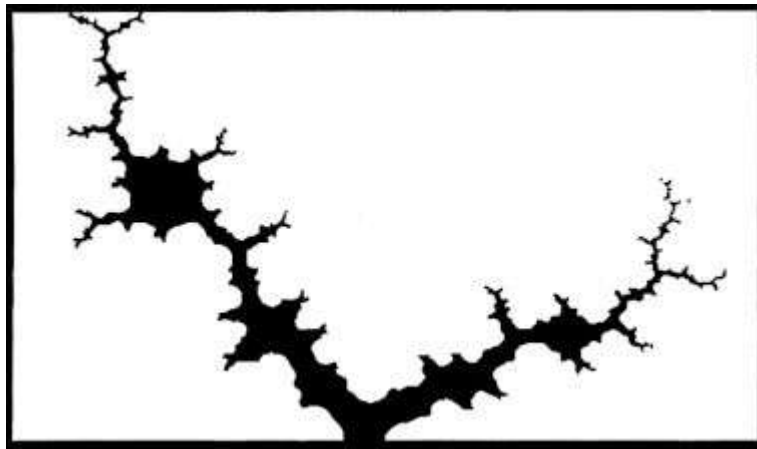
Esta cuestión ponía al descubierto el talón de Aquiles del Instituto de Estudios Avanzados. No conviene contratar a gente como profesores a menos que hayan aportado algo crucialmente importante a su disciplina, pero, por otra parte, tampoco se contrata a una persona que ya ha pasado su mejor época. En las ciencias, sin embargo, y sobre todo en matemáticas, es obviamente

cierto que las personas con una obra realmente importante a sus espaldas suelen haber pasado ya su mejor época. No cabía la menor duda de que la demostración de Selberg era importante, pero lo que preocupaba al Instituto era si, al contratarle como profesor, no iría a cargar con un fósil que por otro lado sólo contaba con tres décadas de edad. Oppenheimer, que era entonces director, propuso, por consiguiente, que a Selberg se le hiciese miembro permanente, lo cual era una buena posición desde cualquier punto de vista, pero algo menos que profesor titular. (En aquellos días la categoría de miembro permanente tenía un sueldo de nueve mil dólares; la de profesor unos quince mil). Oswald Veblen, sin embargo, quería que Selberg entrase en el Instituto como profesor.

El profesorado y la junta de administración del Instituto se mostraron de acuerdo con Oppenheimer, y se hizo a Selberg miembro permanente. Sin embargo, un año más tarde Selberg recibió la medalla Fields, la más alta distinción de su disciplina (en matemáticas no hay premio Nobel), y entonces el Instituto no tuvo más remedio que revisar su decisión. En la primavera de 1951, Atle Selberg fue nombrado profesor titular, categoría que aún conserva. Selberg, entre tanto, ha seguido dedicado a las matemáticas, aunque está abierta a discusión la cuestión de si ha vuelto a elaborar algo tan importante como su teorema de números primos. De todas formas, su opinión personal es que su obra más importante la realizó después de ser nombrado profesor del Instituto, o sea, cuando trabajaba en un problema complejo llamado «trace formula».

John Milnor pasa a otra parte del objeto que aparece en la pantalla. Quiere mostrarme su delicadeza, su auténtica belleza. Si estudia ese objeto no es porque sea útil, dice, sino porque agrada a la vista. «Mis motivos son esencialmente estéticos», afirma. «Si contemplo estas cosas es, en primer lugar, porque son bellas por derecho propio».

La forma tiembla un poco, luego comienza a descender en la pantalla, de modo que se ve más de su parte superior. Finalmente aparece y se estabiliza una de sus partes, ampliada. Se diría la línea serpenteante de un río, o una vista aérea del Gran Cañón. O quizá una parte del sistema alveolar de los pulmones.



Las matemáticas puras son cosa seria, y los que se dedican a ellas tienen fama de ser la gente más cuerda y serena del Instituto, pero cuando, en 1958, el Departamento de Matemáticas contrató como profesor a André Weil, se encontró con uno de los más grandes confabuladores y bromistas de la historia de esa disciplina. Weil es uno de los perpetradores de la broma de «Nicolás Bourbaki».

Nicolas Bourbaki es autor de unas dos docenas de libros sobre matemáticas, serie que comenzó a finales de los años treinta con *Éléments de Mathématique*, libro del que se dijo que era una síntesis revolucionaria del pensamiento matemático contemporáneo; y de su autor, Nicolás Bourbaki, se afirmó que era «antiguo miembro de la Real Academia Poldava» y profesor a la sazón de la «Universidad de Nancago». Las obras de Bourbaki tuvieron éxito inmediato. Se editaron primero en Francia y no tardaron en ser traducidas a otros idiomas, publicándose en el mundo entero y haciendo a su autor bastante famoso, por lo menos entre los matemáticos teóricos. Durante muchos años, sin embargo, se supo realmente poco del autor. La «Real Academia Poldava» resultó ser una entelequia, así como la «Universidad de Nancago». Esto no tiene nada de sorprendente, porque lo mismo pasaba con Nicolás Bourbaki.

«Nicolás Bourbaki» es el seudónimo colectivo de un pequeño grupo de matemáticos franceses que, a mediados de los años treinta, decidieron asentar su disciplina sobre nuevas bases axiomáticas, dándole así una claridad de forma y estructura sin precedentes. Estos hombres eran profesores, y querían que las matemáticas fuesen comprensibles, no meramente enseñables. A su cabeza estaba un francés diminuto llamado André Weil. Weil y sus compañeros de complot —Jean Dieudonné, Jean Delsarte, Henri Cartan y otros— se pusieron de acuerdo para escribir juntos una serie de libros que publicarían con seudónimo.

«Que yo recuerde», dice ahora André Weil en el Instituto, «la primera idea de lo de Bourbaki se nos ocurrió creo que en 1934, cuando

Cartan y yo estábamos dando un curso de análisis en Estrasburgo, y no hacíamos más que discutir cómo sería la mejor manera de enseñar esto o lo otro o lo de más allá. Y recuerdo que un buen día le dije a Cartan: «¡Oye, mira, somos como media docena de profesores de la École Normale los que enseñamos esas cuestiones en varias universidades: yo en Estrasburgo, Delsarte en Nancy, Dieudonné me parece que en Rennes, o vete a saber dónde. ¿Por qué no nos reunimos y arreglamos este asunto de una vez para siempre?; así, por lo menos, ya no tendremos que volvernos a preocupar».

Crearon una identidad completa para su autor, todo un historial, toda una personalidad. Llegaron incluso a inventarse un impresionante membrete para sus obras: Publications de l'Institut Mathématique de l'Université de Nancago.

«Mandamos algunas cartas», prosigue Weil, «y quedamos en reunirnos todos dos veces al mes en un restaurante bastante bueno de París, no me acuerdo ahora cómo se llama, pero sé perfectamente dónde está, en el boulevard St. Michel. Buena comida, y no demasiado caro, después de todo, como quien dice, todavía estábamos empezando. En fin, que debatimos esas cuestiones dos veces al mes, y finalmente decidimos reunirnos en algún sitio durante el verano, no recuerdo ahora si durante una semana o dos. Y así lo hicimos, y así fue como se celebró el primer congreso de Bourbaki que registra la historia».

Al llevar a cabo su broma bajo el nombre de Bourbaki, estos jóvenes matemáticos no hacían más que mantenerse fieles a las grandes



tradiciones de su escuela, la École Normale Supérieure. «Hay una vieja tradición de bromas de este tipo», dice Weil, «que se remonta al comienzo de los años noventa del siglo XVII. Por ejemplo, hubo una sobre Painlevé, el profesor de la Sorbona que luego llegó a ser importante en la política francesa, y durante la guerra, hacia 1916, fue nada menos que primer ministro. Pero cuando se hizo esa broma Painlevé no era más que un joven matemático, muy brillante, de muy buena reputación, y ya profesor de la Sorbona, cosa muy poco corriente. Y además formaba parte del comité de exámenes de entrada en la École Normale».

Como la École Normale era bastante exclusiva, había que aprobar un examen para poder entrar en ella.

«En fin, a lo que iba, los candidatos están paseando por los pasillos», prosigue Weil, «y unos pocos estudiantes de la École Normale andan también por ahí, y uno de ellos, que llevaba ya unos cuantos años en la École Normale, se pone a charlar con uno de los candidatos. Se hace bastante amigo, y al cabo de un rato el estudiante le dice al candidato: “Pareces simpático, de modo que va a ser mejor que te ponga en antecedentes. Ya sabes que en la École Normale hay una tradición de bromas pesadas” —en francés las llamamos *canular*, y ésa es la palabra que usábamos en la École Normale—, “bueno”, le dice, “pues aquí tenemos esa tradición, y una de las cosas que ya se han hecho varias veces es que sea un estudiante el que haga de examinador para los exámenes de entrada, y lo que hace es tomar el pelo al candidato”».

«Entonces», dice Weil, «el candidato fue a examinarse, y vio a Painlevé, un hombre muy joven, que muy bien podía ser estudiante, y el candidato entonces le dice en francés: “A mí tú no me la das” y Painlevé le contesta: “¿Qué quiere usted decir?”, de modo que el candidato dice: “Pues eso, que estoy enterado del asunto, que sé lo de la broma, que eres un impostor”, y Painlevé a su vez: “Soy el profesor Painlevé, soy el examinador”, y así sucesivamente... ».

Mientras cuenta esto, Weil se ríe como un loco, grita, se da golpes en las rodillas.

«Total, que Painlevé no tuvo más remedio que ir *a decir al director de la École Normale que hiciera el favor de venir y confirmar su identidad*, ¡jajajajajaja!».

¡Y ésta no es más que una de sus historias más inofensivas! Pasaban cosas mucho peores en la École Normale Supérieure, de modo que no hay que sorprenderse de que cuando sus mejores matemáticos jóvenes se conchabaron para escribir libros de texto de lo más serio, sesudos volúmenes axiomáticos, no se contentaran con firmarlos con todos sus nombres. «No nos hizo gracia la idea», dice Weil. De modo que lo que hicieron fue llamarse colectivamente «Bourbaki», que es el nombre de un oscuro general francés: Charles Denis Sauter Bourbaki.

A este general, según se cuenta, se le ofreció una vez la oportunidad de ser rey de Grecia, pero, por alguna razón que se desconoce, rehusó ese honor. Más tarde, después de una embarazosa retirada en la guerra franco-prusiana, Bourbaki trató de saltarse la tapa de los sesos, pero no dio en el blanco. Fue un perfecto bufón, y ésa es

la razón de que el grupo decidiera utilizar su nombre como seudónimo colectivo.

En Estados Unidos, Weil enseñó durante algún tiempo en la Universidad de Chicago, mientras algunos de los miembros fundadores de Bourbaki —Dieudonné, Delsarte y Claude Chevalley— lo hacían en la Universidad de Nancy, en Francia. Los nombres de Nancy y Chicago se juntaron, con lo que monsieur Bourbaki resultó ser miembro de la Universidad de Nancago.

Bourbaki, evidentemente, era necesario, como lo demuestra el hecho de que los libros de estos plice-fálicos caballeros generaran suficiente dinero —y siguen generándolo— como para pagar los gastos de viaje y las comidas y cenas que los *bourbachiques* se ofrecen a sí mismos. El grupo sigue existiendo, aunque sus miembros (que son unos diez) cambian, debido a una severa regla que exige que se retiren a los cincuenta años de edad. Y siguen trabajando como siempre. Uno de ellos escribe un libro de extensión normal y se lo lee a sus colegas, bien empapados todos ellos de buenos vinos, en una reunión del grupo, en París. «Los extranjeros a quienes invitamos a las reuniones de Bourbaki tienen la impresión de que es una reunión de locos de atar», dice Jean Dieudonné. «No se imaginan cómo es posible que a gente que no hace más que gritar —y a veces hasta tres o cuatro a la vez— sobre matemáticas puedan ocurrírseles cosas inteligentes».

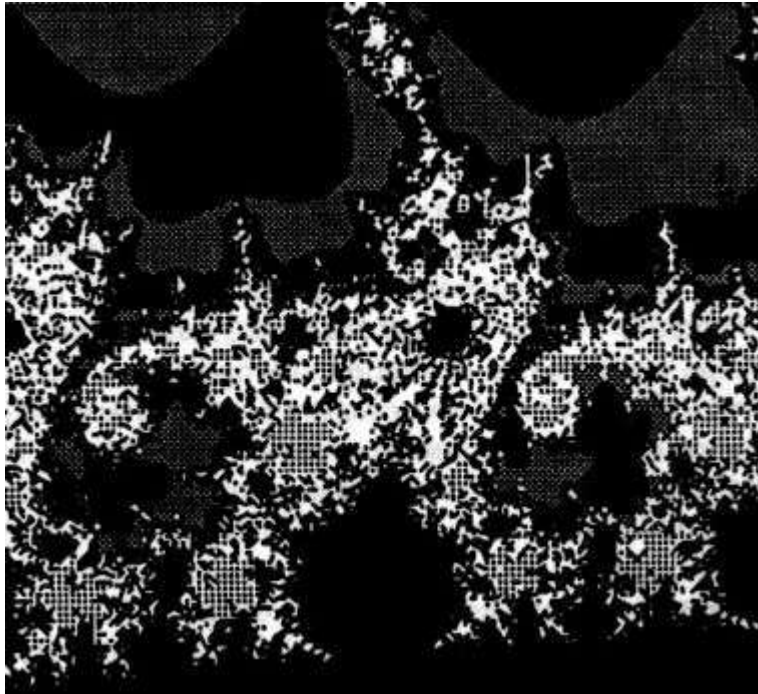
Pero sí se les ocurren. Y el autor del criticadísimo libro se vuelve a casa a reescribir su manuscrito —a veces es otro miembro del grupo el que los reescribe—, y este proceso se repite una y otra vez, hasta

que el grupo lo declara por unanimidad listo para la imprenta. A veces un texto pasa por siete u ocho revisiones antes de ser publicado.

A André Weil, aunque ya hace tiempo que se ha retirado de Bourbaki, le gusta seguir con sus *canulars*. Una publicación reciente del Instituto de Estudios Avanzados da una lista de las afiliaciones, honores, premios y publicaciones de sus augustos miembros desde 1930 hasta 1980. En el apartado de André Weil se lee: «*Honores*: Academia Poldava de Ciencia y Letras. *Afiliaciones*: Asociación Matemática de Nancago».

Se puede llegar a un nivel de ampliación más detallado que el que ahora estamos viendo, explica John Milnor. La verdad es que no hay ningún límite inherente, y eso constituye parte del misterio de la forma que tenemos ante nuestros ojos; cuanto más se amplía una parte de ella, tantas más estructuras se percibirán en su interior. Es como una serie interminable de cajas chinas.

Milnor amplía una vez más.



El punto focal del Departamento de Matemáticas del Instituto es la sala de seminarios. En el primer piso del Fuld Hall, según se va por el pasillo desde el despacho de Einstein, la sala de seminarios es la única «clase» auténtica del Instituto. Tiene alrededor de cincuenta asientos, con mesitas de esas que se levantan y se bajan para tomar notas, y tiene una pizarra al fondo. Aquí se celebran seminarios matemáticos por lo menos una vez al día, y con bastante frecuencia dos veces. Einstein dio conferencias en esa sala, así como también Gödel, y Atle Selberg y André Weil. En el año académico de 1984-1985, Weil, ahora profesor honorario, dio un ciclo de conferencias con el título: «Temas Algebraicos: De Euclides a Bombelli». A esas conferencias asistieron los profesores de matemáticas más antiguos y también los miembros interinos.

Hoy, entre el auditorio, escuchando una conferencia sobre teoría de números trascendentes, se encuentra el matemático Robert Tubbs. Tubbs, ya al comienzo de sus treinta años, tiene una barba rojiza que le da cierto aspecto de general ruso o de capitán de barco ballenero. Está de permiso de su puesto de titular de la Universidad de Texas, en Austin, donde su especialidad son precisamente los números trascendentes, los cuales, por alguna razón, son ahora objeto de una nueva ola de interés entre los matemáticos teóricos.

«Parece verdaderamente atractivo, ¿verdad?», dice Tubbs después de concluido el seminario, «¡*números trascendentes*, nada menos! Pero la verdad es que no lo es tanto; todos los números son algebraicos o trascendentes, y la palabra trascendente significa sólo que el número que designa no es la raíz de ningún polinomio».

Los números algebraicos son los que son soluciones de ecuaciones algebraicas. Más exactamente, los números algebraicos son soluciones de polinomios con números racionales como coeficientes.

Por ejemplo, la ecuación

$$x^2 = 1$$

tiene dos soluciones:

$$x = 1$$

y

$$x = -1,$$

de forma que 1 y -1 son números algebraicos. Ser número algebraico no significa ser número entero, ya que incluso los números irracionales —muchos de ellos— son algebraicos. Por ejemplo la raíz cuadrada de 2 es algebraica, a pesar de ser irracional, es decir, que sigue indefinidamente: 1,4142135... La razón de que la raíz al cuadrado de 2 sea número algebraico es sencillamente que es la solución de una ecuación algebraica, como por ejemplo:

$$x^2 - 2 = 0$$

«Si se puede formular una ecuación sobre los enteros tal que un número determinado sea solución», dice Tubbs, «ese número no es trascendente».

Como los números trascendentes se definen negativamente, es decir, como números que no son soluciones de polinomios, se plantea la cuestión de cómo pueden estar seguros los matemáticos de que cualquier número, el que sea, es trascendente. ¿No podría ocurrir simplemente que todavía no se haya formulado la ecuación adecuada? La respuesta a esto es que se demuestra que un número es trascendente vía reducción al absurdo, como la prueba de Euclides de que no hay un número primo máximo.

«Normalmente se da por supuesto que hay alguna ecuación», dice Tubbs, «y de esto se deduce una contradicción».

Este tipo de pruebas no suelen ser fáciles. Johann Lambert demostró en 1767 que  $\pi$  es irracional, pero hasta más de cien años

después, en 1882, no tuvimos la prueba, proporcionada por Ferdinand Lindemann, de que  $\pi$  es trascendente.

Parte de la fascinación que ejercen los números trascendentes procede del hecho de que, aunque casi todos los números son en realidad trascendentes, sólo en el caso de muy pocos se ha llegado a *demostrar*.

«Si se tienen todos los números en un cubo, por ejemplo, todos los números en el verdadero orden numérico —rationales, irracionales, enteros, y así sucesivamente—, y se saca uno, hay probabilidad uno —o, mejor dicho, *casi* uno— de que ese número sea trascendente. Pero si lo que se quiere es escribir un número trascendente, sólo se dispone de  $\pi$  y  $e$ , y de unos pocos más».

¿A qué sabe, me pregunto, ser matemático puro, pasar todo el tiempo entre las formas, entre los números racionales y los números irracionales, los números primos y los números trascendentes? ¿Qué razón hay para que esas cosas le interesen de verdad a alguien?

Se lo pregunté a Tubbs.

PREGUNTA: ¿Por qué le preocupan tanto los números trascendentes?

TUBBS: Pues porque son interesantes, y los problemas son sencillos de exponer. Parte de su encanto reside en que los problemas que son más fáciles de formular suelen ser también los más difíciles de resolver. Por ejemplo, ¿es  $e + \pi$  trascendente? En *apariencia* es imposible responder a esta pregunta, por lo menos aquí y ahora. Pero, claro está, si se pudiera *demostrar* que era imposible



responder a ella, entonces habríamos hecho un descubrimiento importante.

P: ¿Hay algo en matemáticas que sea imposible de demostrar?

TUBBS: Puede que sí. Puede que haya cosas que sean independientes de los axiomas que se están utilizando. Puede que haya pequeñas cuestiones sencillas que sean imposibles de demostrar.

P: ¿Hay algo en esta cuestión de los números trascendentes que tenga que ver con el mundo real?

TUBBS: Le diré, puede que tenga que ver con el mundo real, por lo menos desde un punto de vista genético. Quiero decir que todos los problemas tienen su origen en algún sitio. En el caso de  $\pi$ , por ejemplo, las preguntas originarias nos llegaron de la geometría. De modo que, llegado el caso, se le podría seguir la pista hasta sus orígenes geométricos. Pero, aquí y ahora, buena parte de lo que entendemos por matemáticas parece a primera vista simple manipulación formal de símbolos, demostrando resultados sobre objetos en los que nadie tiene interés intrínseco. Pero en todos los campos se ve esta insistencia en publicar artículos. Como usted sabe, si se consiguen resultados, incluso si son resultados que dicen algo raro sobre objetos que parecen carecer de interés evidente, pues enseguida hay que publicarlo donde sea.

P: ¿En qué problema concreto trabaja usted ahora?

TUBBS: El gran problema, en mi campo de estudio, está relacionado con  $e$ , la base de los logaritmos naturales. Bueno, pues resulta ahora que la función  $f(z) = e^z$  también tiene una función importante,

tiene grandes propiedades. Si se da a  $z$  la equivalencia de algo así como 1, se consigue  $e$ , que es trascendente. Y si se le da 2 se consigue  $e^2$ , que es trascendente. Bueno, ésta es la clase de cosas que inducen a los matemáticos a hacer una pregunta general. ¿Para qué alfas de las que introduzca obtendré siempre un número trascendente, usando la función  $f(a) = e^a$ ? Pues resulta que no es posible dar respuesta completa a esta pregunta. Quiero decir que a uno le gustaría conseguir una clasificación exacta de todas las alfas que dan este resultado. Una solución parcial es que si el alfa es algebraica, y no equivale a cero, pues entonces  $e^a$  es trascendente.

P: ¿Hay alguna alfa que usted sepa que no da un número trascendente?

TUBBS: Si se eleva  $e$  al logaritmo natural de 2, se obtiene 2 y 2 no es trascendente. Así pues, si se calcula el logaritmo natural de algo parecido a 2 o 1,5, entonces, cuando elevemos  $e$  a esa potencia obtendremos de nuevo el mismo número.

P: ¿Tiene este problema un nombre concreto?

TUBBS: Está relacionado con algo bastante general que se llama Conjetura de Schanuel.

P: ¿Diría usted que el objetivo de su vida es demostrar la Conjetura de Schanuel?

TUBBS: Bueno, la verdad es que estaría bien poder demostrar la Conjetura de Schanuel, pero el que me oyese decir que ése es el objetivo de mi vida de matemático pensaría que me he vuelto loco.

P: ¿Por qué? Sería tan difícil como demostrar el último teorema de Fermat, ¿no?

TUBBS: Podría serlo, aunque no tan atractivo. Quiero decir que sabemos por dónde debe ir la demostración. Se hace acopio de los instrumentos de análisis complejo y geometría algebraica, y luego resulta que esos instrumentos no son tan buenos como debieran. Pero incluso si hacemos que esos instrumentos sean todo lo potentes que son capaces de ser, bueno, pues incluso entonces resulta que no lo podemos demostrar.

P: Pero supongo que demostrar la Conjetura de Schanuel sería un logro importante. ¿Por qué?

TUBBS: La razón de que esa demostración sea importante reside en que, para demostrar la Conjetura de Schanuel, tendrías que demostrar también alguna otra cosa, algo más grande, y eso sí que sería importante. Quiero decir que si lo demuestras con tretas, o sea, sin establecer algo nuevo, pues entonces nadie te haría caso, y probablemente tampoco lo conseguirías. La idea básica es que si consigues demostrar alguna de esas cosas importantes, como el último teorema de Fermat, tienes que desarrollar toda una nueva rama de las matemáticas. Pero si lo que haces es demostrarlo por medio de alguna demostracioncita de esas de dos líneas, que son pura argucia y sutileza, y que a todos se les había escapado hasta que diste tú con ella, bueno, pues entonces lo que pasa es que la gente te da una palmadita en el hombro y te dice: «¡Pero qué listo eres, hombre!», y cosas de ésas, pero la verdad es que no representaría gran cosa.

P: ¿Piensa usted que llegará a demostrar alguna vez la Conjetura de Schanuel?

TUBBS: Me parece que no voy a poder. Es que no acabo de ver la manera de hacerlo. Ni siquiera veo el esquema inicial. No capto la idea nueva.

P: Dejando la cuestión de si podrá o no demostrarla, ¿le parece a usted que la Conjetura de Schanuel es verdadera o falsa?

TUBBS: Oh, yo pienso que es verdadera. Y partiendo de esta base se acepta gran parte de lo que ya se sabe. Dando por supuesto que la Conjetura de Schanuel es verdadera, buena parte de los resultados que ya conocemos se siguen por sí solos. Y esto, a su vez, constituye prueba de que la Conjetura de Schanuel es verdadera.

P: ¿Por qué *quiere* usted demostrarla?

TUBBS: Hombre, sería satisfactoria una demostración, aunque sólo sea para ver cuáles son las ideas nuevas que requeriría. En matemáticas lo importante son las ideas. Y al autor de una demostración de ese tipo la verdad es que no podría satisfacerle hacerla simplemente de una manera artificiosa que no se le había ocurrido a nadie.

P: Cuando se busca una prueba y se llega finalmente a concretar algo, ¿se piensa que se está a punto de descubrir algo nuevo sobre el mundo de los objetos matemáticos?

TUBBS: Sí, claro que sí, y ahora más que nunca. Quiero decir que cuando se escribe una tesis, por ejemplo, se está haciendo algo que uno sabe que es capaz de hacer; algo bastante técnico. Pero cuando se tiene tiempo para pensar, tiempo libre, y esto es lo estupendo del Instituto, que le da tiempo a uno y le libera de presiones y agobios, bueno, pues cuando se tiene tiempo libre se puede jugar con ideas,

se puede ver si encajan o no encajan entre sí. A veces se da con cosas que son verdaderamente bonitas, y nadie las había visto hasta aquel momento, y eso *sí que es* satisfactorio. Pues ésa es precisamente la razón de que pueda ser divertido trabajar en la Conjetura de Schanuel.

P: ¿Le sorprenden a usted alguna vez los resultados que obtiene?

TUBBS: En mi campo de actividad lo que conseguimos demostrar es tanto más flojo que lo que pensamos que debiera ser verdad que pocas veces nos sorprendemos. Casi todos los resultados no pasan de ser soluciones parciales. Por ejemplo, imaginemos que queremos demostrar que determinado número es trascendente. Bueno, pues entonces siempre habrá algún teorema que diga: «Entre los doce números siguientes hay uno que es trascendente», pero ese teorema no te dice cuál de ellos es, de modo que con frecuencia no das en el blanco, y teniendo en cuenta que en este campo es muy fácil hacer conjeturas y todo el mundo cree saber lo que *debiera* ser verdad, pues nuestros resultados siempre quedan un poco por debajo de nuestra capacidad de demostración. Lo que se deduce de esto es que lo que hace falta son algunas ideas nuevas.

P: ¿Existen los objetos matemáticos o son simples invenciones humanas?

TUBBS: Bueno, los números enteros probablemente preexisten en cierto sentido. Y las fracciones también... Pero, fundamentalmente, pienso que la matemática es casi enteramente una creación humana, o sea que se me podría llamar semiplatónico. Pienso que cualquier otro ser vivo que esté pensando en este momento en esos

problemas llegaría a las mismas conclusiones que nosotros, y tendría delante los mismos objetos que nosotros. Lo que pienso es que, partiendo de los números enteros, el pensamiento puro acabaría deduciendo por sí mismo el resto de la matemática. Es como caerse de un árbol.

P: Si las matemáticas son creación humana, ¿por qué es tan difícil obtener resultados?

TUBBS: Es más fácil conjeturar que demostrar, y esto es cierto en cualquier campo de actividad intelectual. Se pueden hacer conjeturas sobre Dios y la metafísica y todo lo demás, pero ¿qué se demuestra en realidad? Su pregunta podría ser perfectamente un argumento a favor de que la matemática está, en cierto sentido, esperando ser descubierta. Lo que yo pienso es que forma parte de la estructura subyacente del pensamiento. Una razón de que sea tan difícil demostrar cosas es que nosotros, los matemáticos, aceptamos la afirmación de Hilbert de que las pruebas tienen que ser rigurosas. Si no creyésemos en esto argumentaríamos con mucha facilidad, y obtendríamos mucho mayores resultados.

John Milnor comenzó a estudiar ondas matemáticas cuando era estudiante de primer año en la Universidad de Princeton, donde cayó bajo la influencia del matemático Albert Tucker. El primer año, Milnor hizo un curso de geometría diferencial con Tucker y trabajó en un problema planteado por el matemático polaco Karol Borsuk sobre la tipología de los nudos. La pregunta era: ¿Cuánto ha de curvarse una curva para llegar a formar un nudo?

«La conjetura, que me fue posible demostrar», dice Milnor, «era que si tenemos una curva cerrada formando un nudo, el total de su curvatura ha de ser por lo menos el doble de 360 grados, o sea, 720 grados».

Milnor dedujo su demostración siendo aún estudiante y con dieciocho años de edad. Un año después publicó una teoría completa de curvas anudadas. Por ello obtuvo más tarde una medalla Fields.

Milnor es profesor de matemáticas en el Instituto desde 1970. Su despacho está en el tercer piso del Fuld Hall, en la parte delantera del edificio (la parte que da al mundo exterior, desde cuyas ventanas se ven casas, coches y gente a distancia), y es un completo paradigma de desorden y confusión («No estoy demasiado bien organizado», dice Milnor). Su mesa de trabajo, las sillas, las estanterías, las mesas, todo está cubierto, y rebosante, de enormes montones de papeles sueltos, fotocopias de artículos, revistas de matemáticas, listados de ordenadores, diagramas, fotos, libros. Hay que tener mucho cuidado al andar. Sólo queda espacio libre encima de los ordenadores. Milnor no pone nada encima de ellos porque podría recalentarlos en exceso.

En el despacho de Milnor hay tres ordenadores, entre ellos un IBM PC, un terminal separado conectado a una unidad central (una VAX 11/780, situada en otra parte), y otro terminal que actualmente está parado. En una habitación contigua hay otros cinco ordenadores, unas cuantas unidades de microsistemas Sun y uno o dos IBM más. Una de las máquinas Sun está conectada a una

máquina Apple de escritura láser que hay en otra mesa, y los cables se cruzan y entrecruzan por el suelo. También aquí hay que andar con cuidado.

Milnor es un tipo de matemático completamente distinto de otros como Atle Selberg, Rob Tubbs y André Weil, a quienes los ordenadores les tienen completamente sin cuidado. Milnor es matemático *algorítmico*, mientras los otros son hombres de pruebas de existencia. Esto es lo que les hace diferentes.

La mayor parte de los matemáticos pertenecen a la variedad clásica llamada de pruebas de existencia. Se empieza con definiciones y axiomas, luego se pasa a un teorema y se demuestra. Es un proceso constante de teorema y prueba, teorema y prueba, y el objeto de todo ello es demostrar la existencia de algún objeto matemático específico, como, por ejemplo, un número dotado de una cierta propiedad, o bien la inexistencia de algún otro objeto específico, como, por ejemplo, el número primo máximo. El ejemplo paradigmático de la matemática de pruebas de existencia son los *Elementos*, de Euclides. Para ejercer este tipo de matemáticas lo único que se necesita es lápiz y papel, o tiza y pizarra.

Durante largo tiempo las matemáticas de pruebas de existencia fueron las únicas a que se dedicaban los matemáticos, pero ahora estamos en la era de los ordenadores, y todo esto ha cambiado. Hay todo un mundo nuevo de objetos matemáticos, que no son producto de axiomas y pruebas, sino de algoritmos. Un algoritmo se define básicamente como un procedimiento mecánico y gradual que acabará dando el resultado apetecido. Los algoritmos que pueden



ser captados por los ordenadores reciben el nombre de programas y, debidamente programados, los ordenadores actuales proporcionan a los matemáticos como cosa rutinaria todos los números con que antes sólo les era dado soñar. La prueba de existencia de Euclides estableció que los números primos son interminables; el matemático algorítmico, sirviéndose de su ordenador, ha conseguido los primeros cincuenta millones de números primos. Una prueba de existencia nos ha revelado que  $\pi$  continúa eternamente; el ordenador nos ha dado sus cifras exactas: hasta muchos millones de decimales. Estas operaciones que manejan tan fantásticamente los números no tienen una importancia matemática especial; a nadie le hace falta disponer de seis millones de cifras de  $\pi$ . Pero hay un modo de que el ordenador dé a los matemáticos algo que nunca habían tenido hasta ahora, y lo que les da es auténticamente nuevo. Les da imágenes, visiones directas e inmediatas de objetos matemáticos.

«Si consigo aportar una demostración abstracta de algo, me siento razonablemente contento», dice John Milnor, «pero si puedo dar una demostración concreta, computacional, con números auténticos, me siento mucho más contento todavía. A mí, la verdad es que me gusta mucho hacer cosas con el ordenador, porque te da un criterio explícito de lo que está sucediendo. Mi manera de pensar es visual, y me encanta ver una imagen de lo que realizo».

La imagen que me ha estado mostrando Milnor todo este tiempo — esa forma frenética electrocutada que aparece en la pantalla— es una figura geométrica llamada *El conjunto de Mandelbrot*. Su

creador, Benoît Mandelbrot, no sólo inventó «el conjunto», como él mismo dice, «del que tengo el honor de llevar el nombre», sino que también, y sin ayuda de nadie, inventó toda una rama nueva de las matemáticas, llamada *fractales*. Hay gente en el Instituto para quienes los fractales son la ola del futuro.

Mandelbrot pasó un año en el Instituto cuando no era más que un joven estudiante recién doctorado, en 1953-1954. «En mi postdoctorado pasé un tiempo breve en el Instituto Tecnológico de Massachusetts, y quería ir a otros sitios», dice Mandelbrot. «En el Instituto de Estudios Avanzados, John von Neumann se interesó por mi trabajo y me invitó a hacerme miembro». Von Neumann pasaba gran parte de su tiempo en Washington como Comisario de Energía Atómica, de modo que Mandelbrot tuvo poca oportunidad de verle. Veía más a menudo a Oppenheimer, que era entonces director del Instituto. En una ocasión Oppenheimer le pidió a Mandelbrot que diese una conferencia sobre su trabajo en el Instituto, trabajo que tuvo su inicio con su tesis doctoral sobre la teoría de juegos y comunicación. Dio la conferencia en la sala de seminarios de matemáticas.

«Cuando llegué a dar la conferencia, Oppenheimer ya estaba allí, y también Von Neumann», dice Mandelbrot, «y recuerdo con mucha claridad que perdí la compostura y la serenidad, y que por esa causa di una conferencia absolutamente abominable, que nadie entendió. Estuve, la verdad sea dicha, de pena. Cuando terminé se me acercó alguien y me dijo que era la peor conferencia que había oído en toda su vida. Pero la situación se salvó gracias a un

maravilloso resumen que hicieron de ella Oppenheimer y Von Neumann. Lo que hicieron Oppenheimer y Von Neumann fue repetir mi conferencia, el uno después del otro, pero mucho mejor que yo, de modo que la cosa acabó triunfalmente, y con gran ventaja para mí. Fue una conferencia que los asistentes iban a recordar muy bien gracias a mi incompetencia, propia de un muchacho demasiado joven para dar una conferencia ante un auditorio heterogéneo, y también gracias a la aparición, cuando menos se esperaba, de mis dos ángeles de la guarda».

Con frecuencia Mandelbrot cruzaba el campus universitario para ir a ver la computadora de Von Neumann, la que había diseñado y construido en el Instituto. Pero Mandelbrot no entendía aquella máquina, ni sabía cómo manejarla, razón por la cual prefería no tener nada que ver con ella. Esa habilidad la adquirió más tarde, cuando se lanzó a descubrir y explorar el universo de los fractales.

Un fractal es un objeto geométrico cuyo contorno no es suave, como lo son las líneas, curvas y superficies de la geometría euclidiana clásica, sino más bien irregular, roto y abrupto, tanto a grande como a pequeña escala. «Inventé la palabra fractal a partir del latín *fractus*», dice Mandelbrot, «del verbo latino *frangere*, que significa rompen o sea, crear fragmentos irregulares». Estas formas fractálicas irregulares son importantes porque, al contrario de lo que siempre se nos ha hecho creer, el universo no es básicamente euclidiano.

La geometría habitual, es decir, la geometría euclidiana, no puede aplicarse realmente a la naturaleza en vivo. Como el mismo

Mandelbrot dice en su inolvidable manifiesto: «Las nubes no son esferas, las montañas no son conos, las costas no son círculos, la corteza no es suave, ni el rayo viaja en línea recta. Más frecuente, a mi modo de ver, es que los patrones de la naturaleza sean irregulares y fragmentarios, y que, en comparación con *Euclides* —la geometría estándar—, la naturaleza muestre no sólo un grado más alto, sino un nivel completamente distinto de complejidad».

Lo irónico de todo esto es que la geometría clásica, que históricamente se desarrolló como medio de medición de vastos espacios terrestres (como se ve indagando en la etimología de la palabra misma: *geo*, tierra, + *metron*, medida), no sirve en absoluto para medir las características vivas, naturales de la tierra. «¿Qué longitud tiene la costa de Gran Bretaña?», se preguntó Mandelbrot a comienzos de su carrera. Y su respuesta fue que realmente no hay una sola respuesta a tal pregunta. Todo depende de la escala y del patrón de medición que se utilice. Si se cogiera un mapa y se midiera la distancia entre las puntas norte y sur de Gran Bretaña, se obtendría un cálculo muy tosco de la longitud de esa costa, pero si se recorre *a pie* la costa entre esos dos puntos, la respuesta sería distinta, porque se iría por la orilla cruzando todas las calas y bahías, todas las cuevas y penínsulas. Y, más aún, si fuera Mickey Mouse el que hiciese ese recorrido, su ruta sería más sutil, más irregular todavía, y, en consecuencia, mucho más larga. Y si la recorriera una hormiga, o un microbio... En fin, mejor es dejarlo.

Todo esto no tiene solamente interés teórico. «La longitud de la frontera entre España y Portugal, o entre Bélgica y Holanda, según

se da en las enciclopedias, puede variar hasta en un veinte por ciento», dice Mandelbrot. «No sería de extrañar que los países pequeños midieran sus fronteras con más exactitud que sus vecinos mayores».

La diferencia entre la geometría clásica y la fractal está en sus ideas opuestas de lo que es dimensión. En la geometría estándar, las dimensiones se presentan solamente en números enteros: así, por ejemplo, una línea recta tiene dimensión 1, una superficie plana 2, un sólido 3. Pero los fractales, de la misma manera que tienen bordes rotos, fragmentados, tienen también *dimensiones fraccionarias*, extrañas dimensiones de zona crepuscular, como 1,67, 2,60 y  $\log_2 (E + 1)$ .

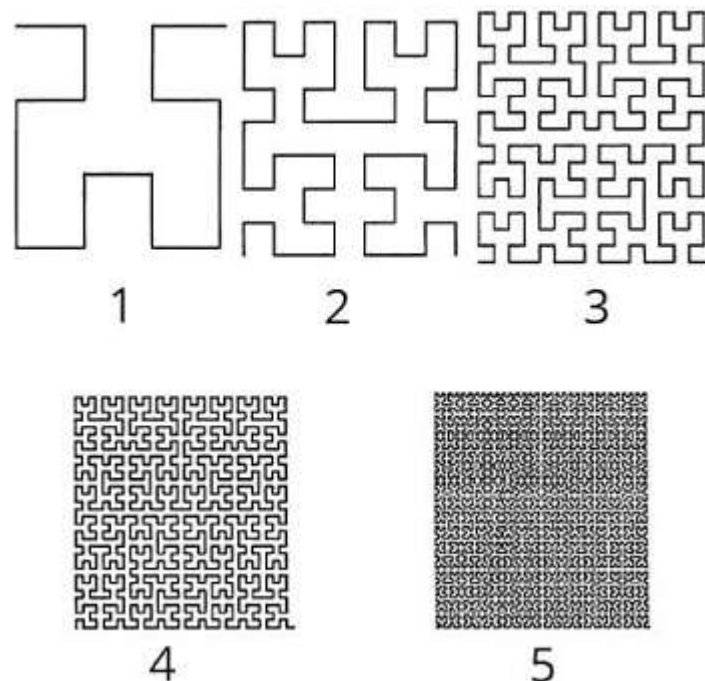


Figura 4. Una curva se convierte en plano.

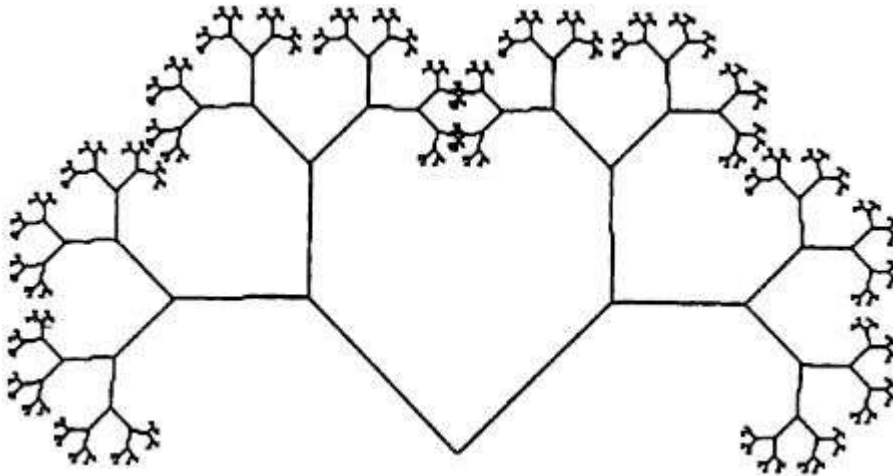
Se podría pensar que las dimensiones tienen que ser números enteros: una línea es una línea, una superficie es una superficie. Pero considérese una curva de Hilbert, que se obtiene dividiendo progresivamente un cuadrado en cuadrados menores y conectando sus centros con una línea continua. Después de unas pocas reiteraciones, la línea formada de esta manera se aproxima a una superficie bidimensional, aunque, al no cerrarse de nuevo sobre sí misma, no sea un auténtico plano delimitado (Figura 4).

Para los matemáticos clásicos, formas como la curva de Hilbert eran entidades repulsivas. Recibían el nombre de formas «patológicas», y no se las consideraba dignas de estudio. Pero Mandelbrot siguió adelante, se lanzó a investigarlas. Como la creación de auténticos fractales requiere muchas iteraciones de funciones de números complejos, sólo le era posible producir esas formas de manera eficiente por medio de ordenadores. Durante su período de investigador asociado de la IBM, Mandelbrot tuvo la oportunidad de producir todo un universo de formas fractales. Comenzó produciendo costas artificiales. Lo único que necesitaba era la fórmula adecuada, o sea, el algoritmo adecuado.

«Pensé la ecuación adecuada», dice Mandelbrot, «y en 1973 nos montamos un trazador automático de gráficos muy tosco para producir costas artificiales... A veces teníamos que pasarnos la noche entera en vela con aquellos trazadores, pero cuando por fin vimos ante nosotros la primera costa, nos quedamos asombrados. ¡Era igual que Nueva Zelanda! Aquí teníamos una isla alargada, allí una más bien cuadrada, y, a un lado, dos puntitos que parecían la

isla de Bounty... Todos sentimos como una descarga eléctrica al ver aquello... Y ahora, al ver las imágenes de costas, todo el mundo está de acuerdo conmigo en que los fractales forman parte de la naturaleza misma».

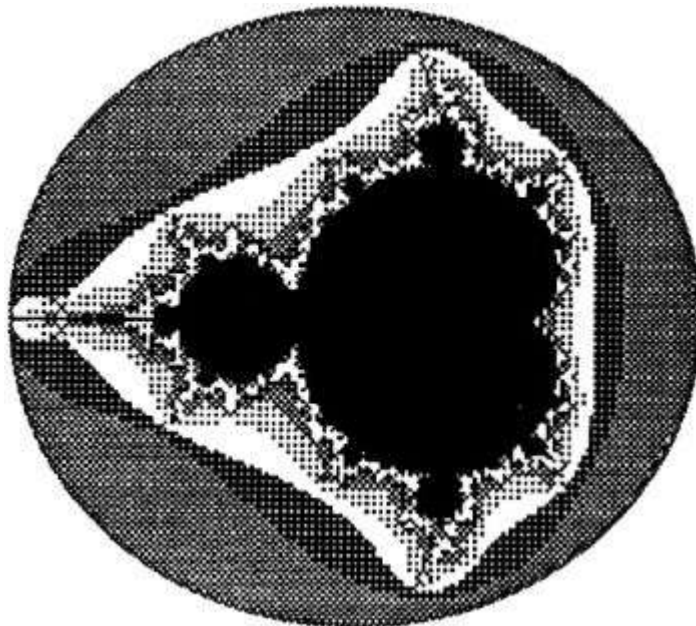
La belleza de muchas formas fractales está en la propiedad que tienen de ser semejantes a sí mismas. Dicho de otra manera, toda la forma de un fractal determinado se reflejará en cada una de sus partes menores. Éste es el fenómeno que Mandelbrot llama «escaleo», en el sentido de que la forma es siempre la misma, sea cual fuere la escala a que se contemple el objeto, como se ve en el caso del árbol fractal (véase el siguiente gráfico).



Mirar un fractal es ver una representación visual de una simple función numérica que se ha reiterado —repetido— una y otra vez. A pesar de su aparente (y auténtica) complejidad, el conjunto de Mandelbrot es el resultado de trazar lo que ocurre cuando la simple función  $(z^2 + c)$  se reitera una y otra vez, tomando números complejos (imaginarios) como valores iniciales.

«El conjunto de Mandelbrot», explica el propio Mandelbrot, «es un conjunto de números complejos que tienen la propiedad de que se coge una determinada operación y se eleva al cuadrado. Si tomamos, por ejemplo, el número  $z$ , se eleva  $z$  al cuadrado, y se le añade  $c$ . Luego se eleva al cuadrado el resultado y se le añade  $c$ . Se eleva al cuadrado el resultado y se le añade  $c$ , y así, muchas veces seguidas. En principio, cada vez que se obtiene un resultado se comprueba si se ha salido de un círculo de radio 2, y se indica en un gráfico. A medida que se sigue adelante, la serie va diseñándose cada vez con más detalle. Pero en realidad lo único que se hace es multiplicar algo por sí mismo y añadir lo mismo a lo mismo: el cuadrado de  $z$  más  $c$ ; el cuadrado de todo más  $c$ ; el cuadrado de todo más  $c$ ».

Se podría pensar que así se llegaría a obtener una bonita línea recta, o una curva, o una espiral. Pero lo que se obtiene es esto:





«El conjunto de Mandelbrot muestra, de manera especialmente extrema», dice su inventor, «el fenómeno que es característico de los fractales: o sea, una fórmula muy sencilla cuyo resultado es extraordinariamente complicado. Es desconcertante comprobar que una sola línea de algoritmo, que, a primera vista, no parece demasiado interesante, puede conducir a algo de tan extraordinaria estructura».

En el Instituto de Estudios Avanzados, John Milnor investiga los fractales fundamentalmente por su belleza.

«Yo contemplo esas cosas por lo bellas que son en sí mismas», dice Milnor. «Para cierta gente, el principal motivo de estudiarlos es que pueden ser útiles. Para mí, personalmente, la utilidad es un afortunado producto secundario».

Milnor, a pesar de todo, reconoce que el estudio de los fractales tiene posibles aplicaciones prácticas.

«Los fractales pueden estar vinculados a diferentes problemas del mundo real, como la comprensión de la naturaleza de los sistemas dinámicos, por ejemplo, o la comprobación de lo que es la turbulencia», dice Milnor, «y luego, los fractales pueden darnos también un modelo del sistema pulmonar humano mejor que el que nos brinda la geometría convencional. Piense usted en los finos conductos sanguíneos y de ventilación que están interconectados entre sí formando un patrón muy complejo. Desde el punto de vista de la geometría clásica eso no tiene sentido alguno, porque en esa geometría se estudian objetos lisos, diferenciables, pero la

estructura pulmonar puede ser descrita muy acertadamente como un tipo de conjunto fractal».

Mandelbrot ve fractales por doquier en la naturaleza, y ha producido ecuaciones que, cuando son proyectadas gráficamente por el ordenador, imitan fielmente la estructura fractálica de fenómenos naturales tan distintos como puedan ser los árboles, los ríos, el sistema vascular humano, turgencias de nubes, el ojo de Júpiter, el flujo de la Corriente del Golfo, o los pliegues cerebrales de los mamíferos. Teniendo en cuenta también las formas de factura humana, Mandelbrot muestra que los pliegues de telones de teatro y la arquitectura de la Torre Eiffel tienen sus contrapartidas en la geometría fractal abstracta. Los fractales, dice, «son la sustancia misma de nuestra carne».

Si los fractales explican la estructura de los fenómenos naturales, desde las pulgas hasta galaxias enteras, cabe preguntarse sobre la verdadera escala, en la naturaleza, de la geometría fractal. John Milnor dice: «Pienso que indudablemente se desintegra al llegar al nivel molecular, porque entonces hace falta una geometría distinta, pero si se está en una escala de más de unas diez moléculas, la geometría fractal empieza a funcionar de ahí en adelante».

Actualmente Milnor sólo puede aventurar conjeturas sobre el tipo de respuestas que se darán a algunos de los problemas que investiga:

«El problema en que estoy trabajando en este momento», dice, señalando a la pantalla, «es si, cuando se amplía una parte del conjunto de Mandelbrot una y otra vez, se acaba llegando a una especie de límite. Hasta ahora lo único que ocurre es que la imagen

se va haciendo cada vez más complicada..., y en esto hay muchas cosas que no se entienden».

Benoît Mandelbrot dio a una de sus formas fractales más simétricas y agradables a la vista el nombre de *Dragón de San Marcos*. «Es la desenfrenada extrapolación de un matemático de la silueta nocturna de la Basílica de Venecia, junto con su reflejo en una *piazza* inundada».

Programar un ordenador es relativamente fácil. Basta con teclear un algoritmo sencillo, un programa de alrededor de veinte líneas, y dejarlo que se desarrolle. Y entonces aparece ante nuestros ojos una forma incorpórea, fantasmal, surgiendo burbujeante de las profundidades del tubo catódico. Parece efectivamente la catedral veneciana reflejada en las aguas, y su forma de aparecer, punto a punto, es ciertamente un poco mística. La forma crece con los electrones, y luego se queda flotando en la pantalla del ordenador. Entonces puede empezar a percibirse la belleza que ven los matemáticos en esos objetos intelectuales, puros e incorpóreos. ¿Es éste el aspecto que tienen las formas... en lo alto del Cielo Platónico?

## **Parte II**

### **Herejes**

#### **Sección 5**

##### **Juanito el vividor**

La rueda de la ruleta gira, la pelota blanca de acetato va por un lado, la rueda por otro, pero todos los ojos están fijos en la pelota a medida que los números —cuadrados rojos y negros alternos— pasan borrosamente. En la estancia reina el mayor silencio, los únicos ruidos son el del aire al rozar los calados de la rueda y el murmullo de la pelota al girar en torno al rotor como una luna en torno a su planeta. Como suelen hacer los jugadores, los allí presentes creen saber en qué número se va a detener, por lo menos de manera aproximada. Los rotores de la rueda de la ruleta se dividen en ocho sectores, llamados «octantes», y los espectadores apuestan a que la pelota se detendrá en algún punto del quinto octante, que abarca los números 18, 31, 19, 8 y 12.

El rotor aminora su velocidad y la pelota comienza a descender hacia los diamantes metálicos situados a ambos lados de la rueda. Si la pelota toca uno de éstos su trayectoria cambiará, se volverá azarosa, y el quinto octante dejará de ser, al fin y al cabo, una buena perspectiva, pero la pelota pasa junto a los diamantes sin tocar ninguno de ellos, y acaba dirigiéndose hacia las ranuras que hay en la parte inferior. Pasa sobre los números —que se alternan: par e impar, negro y rojo—, y, al hacerlo, el quinto octante aparece

ante ella, justo como si alguien acabara de llamarlo; la pelota cae en los huecos —*click, click, click*, entrando y rebotando saltarina—, hasta quedarse inmóvil exactamente en uno de los lugares donde se pensaba que iba a caer, en el número 19. Se queda en su hueco, como un huevo en su huevera, mientras la rueda va parando lenta, suavemente.

Los que lo miran se sienten muy contentos, pero no se ponen a dar saltos y a gritar como jugadores aficionados, ni recogen dinero, porque, aunque lo que tienen delante es una rueda de ruleta con todos los requisitos, fabricada por la casa B. C. Wills, de Detroit, y comprada en la tienda de objetos de juego Paul, en Reno, Nevada, no están en Reno, ni en Las Vegas, ni siquiera en Atlantic City. Este golpe de fortuna tuvo lugar en Princeton, estado de Nueva Jersey, en el Instituto de Estudios Avanzados. En el nido de águilas situado en el tercer piso del Fuld Hall, dos pisos por encima del lugar mismo donde Albert Einstein solía aislarse para pensar... que Dios no juega a los dados con el universo, dos jóvenes científicos están perfeccionando un nuevo sistema de juegos.

En pie a ambos lados de la rueda vemos a J. Doyne Farmer, que actualmente disfruta de una beca Oppenheimer en el Laboratorio Nacional de Los Álamos, y a Norman Packard, amigo de la niñez de Farmer, con quien creció en Silver City, Nuevo México. Packard es ahora miembro veterano del Instituto de Estudios Avanzados, donde forma parte de un reducido número de científicos que trabajan con el grupo de sistemas complejos de Stephen Wolfram. Farmer, que ha estudiado astrofísica y está habituado a pensar en diminutas

esferas en órbita en torno a grandes cuerpos giratorios, había preparado un programa de ordenador del que esperaba que simulara la dinámica de una bola de ruleta con tanta exactitud como para predecir con precisión el lugar donde se iba a detener. La idea consistía en llevar este programa en un ordenador escondido a los casinos de Las Vegas y hacerse ricos. Packard y Farmer lo pusieron a prueba varias veces en Las Vegas, y parecían tener una ventaja del cuarenta por ciento, hasta que una serie de reveses técnicos relacionados con la parte electrónica y mecánica del ordenador, no con el programa propiamente dicho, les puso fuera de combate. Más tarde el plan se publicó en la prensa popular — gracias al libro *The Eudaemonic Pie*, partes del cual se publicaron por entregas en el *Science Digest* en 1985—, lo cual acabó prácticamente con sus posibilidades de hacerse ricos por ese método, al menos durante algún tiempo. Pero ahora han vuelto a las andadas, aunque esta vez les induce a ello la idea de que tienen que terminar el experimento por el experimento mismo, y no por hacer saltar la banca en Montecarlo.

Lo asombroso, sin embargo, no es que Farmer y Packard puedan predecir el resultado de las tiradas de ruleta con más exactitud que la que proporciona el azar, sino que el experimento pueda tener lugar en el sacrosanto recinto del Fuld Hall... sin que a nadie se le ocurra protestar. El Único Auténtico Cielo Platónico se ha convertido en un laboratorio de casino de juegos de azar, y esos tipos se salen con la suya. Es cierto que esa ruleta no gira donde cualquiera podría verla, en pleno día de trabajo intelectual en este

paraíso de la ciencia, pero tampoco puede decirse que Farmer y Packard hayan hecho grandes esfuerzos por ocultarla a la curiosidad general; lo que pasa es que al tercer piso del Fuld Hall no suele subir mucha gente, y los que suben lo único que ven es una puerta cerrada, que, al abrirse, revela una estancia llena de ordenadores y otras puertas que conducen a otras estancias, como un laberinto. La rueda de la ruleta está en una de esas habitaciones retiradas, y menos mal, porque si los habituales del Instituto — sobre todo los eruditos en ciencias sociales o estudios históricos— llegasen a descubrir que un par de científicos se reúnen allí arriba... *¡para jugar a la ruleta!...*, bueno, pues se armaría una buena. No hay más que recordar lo que pasó la única vez que a alguien del Instituto se le ocurrió llevar a cabo un simple experimento.

En esa ocasión a que aludo el culpable fue John von Neumann. Aquí mismo, en la más marfileña de todas las torres, donde el instrumento más pesado es un trozo de tiza, y el ruido más violento el que hacen en la biblioteca los papeles al rozarse, Von Neumann construyó una especie nueva de ordenador electrónico. Nada de abstracciones imaginarias, esta vez se trataba de la verdad tangible, de una *máquina* hecha con pernos y tuercas y metal. Tenía una hendedura en la parte superior, un tubo, y una salida de gases por la que se expulsaba el calor de todos los filamentos candentes y todos los tubos de vacío, más o menos como una máquina de vapor. Para los habitantes del Instituto un aparato así era algo impensable. Estas mentes privilegiadas se habían refugiado en Princeton precisamente para escapar al tosco mundo de ruido y máquinas,

para enclaustrarse en un lugar donde pudieran dar vueltas a sus profundos pensamientos en un ambiente de paz y tranquilidad... y ahí estaba Johnny von Neumann, Juanito el vividor, transformando su etéreo paraíso en... *una tienda*, usando los recursos de su monástico Instituto para construir... *una máquina*.

En el Instituto no se podía tolerar ese comportamiento, en el Único Cielo Platónico Verdadero. Era indigno. Era herético. Habría que poner fin a tal profanación, y lo cierto es que los veteranos del Instituto acabaron deshaciéndose del aparato. Pero, claro, eso fue después de la muerte de Von Neumann. Aunque odiaban aquel feo ingenio electrónico y no les servía absolutamente para nada, lo cierto es que nadie podía estar enfadado durante mucho tiempo con un hombre como Von Neumann. Era demasiado simpático. Daba fiestas estupendas, las mejores fiestas de Princeton. Le encantaban las mujeres y los coches rápidos. Le encantaban las bromas, los versos festivos y los chistes verdes. Le encantaba el ruido, la comida mexicana, los buenos vinos, el dinero. No era posible coger antipatía a un hombre así, de modo que los habituales del Instituto encontraron disculpas e hicieron una excepción en el caso de Von Neumann, una excepción que ni siquiera se les habría pasado por la imaginación hacer por ninguna otra persona. A pesar de sus solapadas actividades con ordenadores, Von Neumann siguió siendo una de sus máximas lumbreras, uno de los inmortales, uno de los dioses que andaban por la tierra. «Se contaba por Princeton», escribe Herman Goldstine, «que, aunque Von Neumann era, sin



duda alguna, un semidiós, había hecho un estudio detallado de los seres humanos y los imitaba a la perfección».

Ciertamente, el trabajo de Von Neumann con ordenadores y autómatas celulares no ocupaba ni siquiera la mitad de su trabajo diario: más bien, se diría, una quinta parte o incluso menos. Von Neumann tuvo el talento de crear ramas nuevas de las matemáticas, como, por ejemplo, la teoría de juegos. Para Von Neumann demostrar el teorema ergódico no era ni más digno ni más indigno que predecir el tiempo, construir un ordenador o enseñar a los titanes del comercio a aprovecharse de la teoría de juegos para situarse mejor en el implacable mundo comercial. En Los Álamos, trabajando en el Proyecto Manhattan, Enrico Fermi solía tomar el pelo a Edward Teller, diciéndole: «Dime, Edward, ¿a qué se debe, en tu opinión, el que los húngaros no hayan inventado nada?». Pero Von Neumann, que también era húngaro, participó en la invención del mecanismo implosivo para la primera bomba atómica, y luego, junto con Teller, Stanislaw Ulam y otros, inventó la bomba de hidrógeno. No era lo que se dice correcto —¡qué iba a ser, al contrario, era horrible, verdaderamente espantoso!— ver a todo un profesor del Instituto dedicado a montar ordenadores y bombas con la misma alegría con que inventaba disciplinas matemáticas y sacaba dinero de varios trabajos de asesoría. Pero ¿cómo guardarle rencor a Johnny? Imposible. Era demasiado divertido, demasiado vividor.

Fue un año realmente prodigioso para la ciencia y la tecnología. En febrero de 1903, el *New York Times* publicaba su primer artículo

sobre «el radio, del que tanto se habla», y empezaron a propalarse por el mundo noticias sobre elementos radiactivos. En octubre, el *Saint Louis Post Dispatch* publicó un artículo en el que se decía del radio que «su poder será inconcebible. Por medio de ese metal se destruirán todos los arsenales del mundo. Podría hacer que la guerra llegase a ser inviable, agotando todos los explosivos acumulados en el mundo... Es posible incluso que se invente un instrumento que, al solo contacto de una tecla, haga volar el planeta entero, dando lugar al fin del mundo».

Claro es que también ocurrieron cosas buenas ese año. El 17 de diciembre de 1903, en una playa de Carolina del Norte, los hermanos Wright hicieron sus primeros vuelos controlados, con lo que dio comienzo la carrera del espacio. Once días más tarde, nació en Budapest John von Neumann, que nos iba a introducir en la edad de los ordenadores, los robots y la inteligencia artificial. Johnny, hijo de un banquero acomodado, no fue flor tardía, como Einstein. A los seis años dividía mentalmente dos números de ocho cifras y bromeaba con su padre en griego clásico. Dos años más tarde ya sabía cálculo y demostraba su memoria fotográfica leyendo una página de la guía de teléfonos de Budapest y recitándola entera, con nombres, direcciones y números telefónicos, y con los ojos cerrados. En una ocasión, su madre, que estaba cosiendo, se detuvo un momento y se puso a mirar al espacio. El niño, mirándola, la preguntó: «¿Madre, qué es lo que estás calculando?».

Johnny entró en la Universidad de Budapest, que utilizó principalmente como base de operaciones y punto para repostar

entre sus viajes. A Berlín, para oír a Einstein dar conferencias sobre mecánica estadística; a Zurich, donde participó en el programa de ingeniería química en la famosa ETH; y, naturalmente, también a Göttingen, donde estudiaría con el famoso matemático David Hilbert. A la edad de veintidós años, Von Neumann coronó toda esta febril actividad consiguiendo dos títulos: un diploma de la ETH en ingeniería química, y un doctorado *summa cum laude* en matemáticas de la Universidad de Budapest; con buenas notas también en física y química experimental, a modo de propina.

Cuando llegó a Göttingen, la mecánica cuántica estaba empezando a ocupar el centro de la escena. El reto consistía en dar una descripción matemática coherente del átomo, con la cual abarcar las teorías rivales adelantadas por Werner Heisenberg y Erwin Schrödinger. Después de obtener sus títulos, Von Neumann se dedicó al estudio del problema de combinar ambas teorías, y entre 1925 y 1929 escribió una serie de ensayos con los que, en 1932, iba a publicar su primer libro: *Mathematical Foundation of Quantum Mechanics*, «Fundamentos matemáticos de la mecánica cuántica». Hoy en día, después de más de cincuenta años, ese libro sigue estando a la venta.

La clave del concepto del cuanto de Von Neumann es su uso del «espacio de Hilbert», idea concebida por Hilbert para el estudio de ecuaciones con infinitas variables. Si se quiere resolver un par de ecuaciones simultáneas, como, por ejemplo

$$x - y = 1$$

y

$$x + y = 7,$$

se pueden encontrar los valores de  $x$  e  $y$  de dos maneras. Aplicando el álgebra elemental para encontrar una solución aritmética, o bien sirviéndose de las técnicas de la geometría analítica. Para hacer esto se representan gráficamente ambas fórmulas sobre el mismo par de ejes, y si hay solución válida a ambas ecuaciones al mismo tiempo, las curvas resultantes se entrecruzarán en un punto común a ambas, cuyas coordenadas  $x$  e  $y$  serían los valores exactos de ambas incógnitas.

El mismo procedimiento se puede aplicar a fórmulas con más incógnitas, de modo que, si se tiene delante la ecuación

$$x^2 + y^2 + z^2 = 1,$$

añadiendo un eje  $z$  se creará un espacio tridimensional, sobre el que se puede trazar esta nueva ecuación. Al hacerlo, en este caso, se obtiene una esfera de radio 1 con su centro en la intersección común a los tres ejes.

Es posible representar gráficamente una ecuación incluso si tiene más de tres incógnitas, pero hacer eso supone abandonar el mundo habitual de tres dimensiones y entrar en el reino crepuscular del espacio de Hilbert. Más variables significan más ejes en el diagrama: por ejemplo, una ecuación con cinco incógnitas describirá una esfera de cinco dimensiones, o «hiperesfera». Lo que hizo Hilbert

consistió en extender esta progresión hasta cubrir ecuaciones con infinitas variables, cuya representación geométrica requeriría un espacio con un número infinito de dimensiones. Ese espacio por supuesto no es un espacio físico, si por espacio físico se entiende un espacio compuesto por las tres dimensiones habituales. A pesar de todo, tanto matemáticos como físicos utilizan de manera habitual el espacio de Hilbert infinitamente dimensional, sobre todo en el contexto de la teoría cuántica, para resolver problemas del mundo real. Y si les es posible hacer eso, es a Von Neumann a quien se lo deben.

A mediados de los años veinte había dos interpretaciones opuestas de los fenómenos cuánticos que complicaban la vida a los físicos. Una de ellas era la mecánica matricial de Heisenberg, y la otra la teoría de función de ondas de Schrödinger, y los físicos no sabían con cuál de las dos quedarse. Según Werner Heisenberg, los atributos del sistema cuántico se expresan en matrices, o sea, en formaciones de números como las que pueden verse en una tarjeta de bingo o en la tabla periódica de los elementos. Cada matriz de números representa un atributo distinto, y, de esta manera, resulta una matriz para un nivel energético cuántico, otra para la posición, otra para el momento, y así sucesivamente. Heisenberg usaba matrices de números —en lugar de números aislados— porque consideraba que los atributos de las partículas eran inciertos e indefinidos *per se*. La partícula es más como una mancha en el espacio que como un punto en una línea, y por ello su posición no se puede representar por enteros aislados, sino solamente por toda

una formación de enteros. Los distintos números de la formación numérica corresponden a las distintas probabilidades de que la partícula tenga esos valores concretos.

Erwin Schrödinger, por otra parte, mantenía que los estados atómicos debieran ser vistos como ondas de materia. Un electrón en órbita en torno a un núcleo no describe, a su modo de ver, un camino circular como el planeta que gira en torno al sol, sino que toma, más bien, una ruta sinusoidal, como la de una montaña rusa, en torno al núcleo atómico. Otras partículas cuánticas se representaban, de la misma manera, a modo de ondas, y sus leyes de movimiento se expresarían en términos de ecuaciones de ondas.

Fue en ese momento cuando John von Neumann entró en la contienda, combinando ambas teorías en una sola. La clave de ello fue el espacio de Hilbert. Von Neumann mostró que si los estados atómicos se veían en términos de vectores (flechas) en el espacio infinitamente dimensional de Hilbert, las rotaciones de las flechas corresponderían a los asientos numéricos de las matrices de Heisenberg en la misma medida que a las funciones de onda de la teoría de Schrödinger. Johnny formuló esto dentro del marco de un nuevo teorema axiomático matemático, gracias al cual la conducta, en apariencia azarosa, de las partículas cuánticas, llegó a parecer casi lógica.

Como consecuencia de haber hecho todo esto a la edad de veintiséis años, Von Neumann adquirió fama internacional, y, en el otoño de 1929, Oswald Veblen, que entonces estaba todavía en el Departamento de Matemáticas de la Universidad de Princeton,

invitó a Johnny a ir a Princeton a dar una serie de conferencias «sobre algún aspecto de la teoría cuántica». Von Neumann aceptó, y, después de pasar una temporada en los Estados Unidos, llegó a la conclusión de que él y los Estados Unidos estaban hechos el uno para el otro. Era la tierra del optimismo, del pragmatismo y de las posibilidades. La gente era extravertida, afable, sin convencionalismos, y, sobre todo, les gustaba pasarlo bien, exactamente igual que a él. Claro es que a Norteamérica le faltaban algunas comodidades del viejo mundo, como por ejemplo las cafeterías y los pequeños bistrós donde poder tomarse un café fuerte a sorbitos y fumar lentamente un puro discutiendo sobre el estatus del teorema ergódico horas y horas. Durante algún tiempo Von Neumann sopesó las posibilidades de abrir una taberna de tipo europeo en Princeton, pero nunca llegó a poner en práctica la idea. Sí hizo, sin embargo, algo casi igual de bueno: se dedicó a dar fiestas. A juzgar por lo que cuentan los veteranos del Instituto, las fiestas de Von Neumann eran como operetas vienesas.

«Eran fantásticas», dice uno de los viejos amigos de Von Neumann, «y lo que se cuenta de esas fiestas no es exageración. Von Neumann era una persona tremendamente ingeniosa, lleno de vida, más gordo que yo. Sabía divertirse».

Estas fiestas tenían lugar con regularidad, por lo menos una vez a la semana, a veces dos, en la casa grande de madera que tenía Von Neumann en el número 26 de Westcott Road, donde camareros de esmoquin pasaban la bandeja de las copas entre los invitados, se bailaba, se fumaba, se reía, y había compañerismo.

«Todos aquellos viejos genios», recuerda uno de sus amigos, «se volvían de lo más accesible en casa de Von Neumann».

Cuando el Instituto de Estudios Avanzados comenzó a tomar forma en Princeton era natural que a Von Neumann se le invitase a entrar en él, y es así como se le nombró profesor, igual que a Einstein, Veblen y Alexander.

Era un joven en un grupo de viejos. «Era tan joven», dice un miembro del Instituto, «que la mayoría de gente que lo veía por los pasillos, lo confundía con un estudiante».

En un Instituto repleto de grandes intelectos, Von Neumann poseía la mente más rápida por un amplio margen. Según Julian Bigelow, que trabajó con él en un proyecto de ordenadores, Von Neumann tenía el tipo de inteligencia que «si vas a verle con una idea, en cinco minutos está ya mucho más allá que tú, y captando exactamente todos sus posibilidades. Su mente era tan rápida y tan exacta que no había manera de estar a su nivel. Que yo sepa, no había nadie en el mundo de su misma categoría».

Hay muchos matemáticos que dicen que a ellos los números no se les dan muy bien, que no saben sumar, restar, multiplicar o dividir con más rapidez que la gente corriente. Paul Halmos, uno de sus ayudantes en el Instituto, asegura que Von Neumann era una calculadora humana. «Cuando su computadora electrónica estaba a punto para el primer test preliminar, alguien proponía un problema relativamente sencillo, con potencias de 2 (siempre era algo así como: ¿cuál es la menor potencia de 2 con la propiedad de que su cuarto número decimal a contar desde la derecha sea siete? Este



problema es completamente trivial para un ordenador de los de ahora, y sólo le lleva una fracción de segundo resolverlo). Lo curioso», observa Halmos, «es que la máquina y Johnny empezaban al mismo tiempo, y Johnny lo resolvía antes».

Había que saber tomar notas muy deprisa si se quería sacar provecho de las conferencias de Von Neumann. Durante sus seminarios (la sala de seminarios del Fuld Hall estaba enfrente de su despacho) solía escribir docenas de ecuaciones en la pizarra, apretujándolas todas en un espacio cuadrado de no más de cincuenta centímetros, a un lado de la pizarra. En cuanto terminaba con una fórmula, la borraba rápidamente y ponía otra en su lugar. Y hacía esto una y otra vez, a toda velocidad: una fórmula, la borraba; otra, la borraba; y así, hasta que dejaba el trapo en el borde del tablero y se ponía tranquilamente a limpiarse las manos de tiza. «Demostración por borradura», solían llamar sus oyentes a este sistema.

Von Neumann tenía una memoria verdaderamente fotográfica, nunca olvidaba nada. Herman Goldstine asegura que Von Neumann «era capaz de leer un libro o un artículo una sola vez y citarlo inmediatamente después entero y además lo volvía a hacer años después sin la menor vacilación...». Goldstine lo puso a prueba en una ocasión pidiéndole que le recitara el comienzo de *Historia de dos ciudades*, de Charles Dickens, y Von Neumann comenzó, sin más, a recitar el primer capítulo, siguiendo impertérrito hasta que el otro, al cabo de diez o quince minutos, le dijo que ya podía parar.

Dentro de la mejor tradición supergenial, Von Neumann era muy excéntrico. Por ejemplo, siempre iba vestido como un banquero, fueran cuales fuesen las circunstancias. Él y su mujer viajaron una vez a Arizona, donde hicieron una visita al Gran Cañón. Como amigo que era de pasarlo bien, Von Neumann se propuso ir al fondo del cañón a lomos de una mula, como es costumbre. Todo el mundo iba vestido a tono: camisa de manga corta, botas altas, sombrero de ala ancha, polainas anchas de cuero sobre los pantalones, cosas así, pero Von Neumann no, nada de eso: fue a lomos de su caballo o de su mula, con su camisa y su corbata, su traje de chaqueta y la punta del pañuelo asomando por el bolsillo delantero del pecho. Al parecer estaba convencido de que hay que sufrir en aras de la elegancia. Y luego estaba también la cuestión del acento. Von Neumann quería crearse su propio acento: a pesar de los pesares no quería que su acento fuese demasiado norteamericano. «Cuando se le escapaba algún americanismo en su pronunciación», observa Goldstine, «se corregía inmediatamente, y repetía la palabra pronunciándola a su manera».

También tenía sus excentricidades de distracción profesoral. La mujer de Von Neumann, Klara, recuerda que en una ocasión cayó enferma: «Le dije que me trajera un vaso de agua, y volvió al cabo de un rato a preguntarme dónde estaban los vasos. Llevábamos diecisiete años viviendo en aquella casa». (Bueno, tenían sirvientes. Ellos sabían ese tipo de cosas). En otra ocasión, Johnny salió una mañana de Princeton porque tenía una cita en Nueva York. A mitad del camino se le olvidó a quién iba a ver y llamó por teléfono a su

mujer para preguntárselo: «Oye, dime, ¿para qué tengo que ir a Nueva York?».

¡Vaya personaje!

Era inevitable que la mente más rápida de la civilización occidental acabase encontrándose con «el cerebro electrónico». El ENIAC — Integradora y Computadora Numérica Electrónica— estaba siendo construido en Filadelfia, a unos sesenta kilómetros de distancia de Princeton por carretera. La convergencia de estos dos devoradores de números constituyó uno de esos momentos decisivos de la historia del mundo fruto del encuentro fortuito entre dos hombres. Los hombres en cuestión eran Von Neumann y Herman Goldstine, y ambos estaban trabajando para el Laboratorio de Investigación Balística del ejército norteamericano, situado en el Centro de Pruebas de Aberdeen, estado de Maryland. El ENIAC iba a ser para el ejército, y se iba a utilizar para calcular trayectorias de misiles y programas de tiro con la rapidez del rayo. Goldstine solía ir y venir entre Aberdeen y Filadelfia, y un día de agosto de 1944, cuando estaba esperando el tren, apareció John von Neumann en el andén de la estación.

«Hasta entonces no había tenido la oportunidad de conocer personalmente a este gran matemático», recuerda Goldstine, «pero sabía mucho sobre él, naturalmente, y había asistido a conferencias suyas en varias ocasiones. Por lo tanto fue mucha mi temeridad cuando me acerqué a esa figura de fama mundial, me presenté, y comencé a charlar con él. Afortunadamente para mí, Von Neumann era una persona acogedora y amable, que hacía todo lo posible para

conseguir que la gente se sintiera relajada en su presencia. La conversación giró enseguida sobre mi trabajo, y cuando Von Neumann se dio cuenta de que yo participaba en la construcción de un ordenador electrónico capaz de trescientas treinta y tres multiplicaciones por segundo, el tono de nuestra conversación cambió por completo: dejó de ser una charla inconsecuente y bienhumorada para convertirse en un verdadero examen oral de doctorado en matemáticas».

Unos días después Von Neumann se encontraba en Filadelfia, examinando lo que ya estaba construido del ENIAC. En aquel momento, según Goldstine, las pruebas de los dos acumuladores ya estaban bien avanzadas. «Recuerdo, porque tiene gracia», rememora Goldstine, «la reacción de Eckert ante la inminente visita». (J. Presper Eckert, junto con John Mauchly, era el inventor del ENIAC). «Dijo que podría decirme si Von Neumann era realmente un genio con sólo oír su primera pregunta: si se refería a la estructura lógica de la máquina, creería en Von Neumann. Si no, no. Y ésa fue, como era de esperar, la primera pregunta de Von Neumann».

Seis meses después del primer encuentro entre la Mente y la Máquina, Von Neumann pensó construir su propio ordenador en el Instituto de Estudios Avanzados. Lo primero de su programa, sin embargo, consistía en hacerse una idea clara de los inconvenientes del ENIAC, que eran numerosos. Para empezar, resultaba demasiado grande; en realidad era peor que grande: era colosal, un verdadero dinosaurio de tubos y alambres. Tenía treinta metros de longitud, tres de altura y uno de fondo. Contenía más de cien mil

piezas, entre las que había que contar dieciocho mil tubos al vacío, mil quinientos relés, setenta mil resistencias eléctricas, diez mil condensadores y seis mil interruptores de palanca. La máquina parecía no tener fin, y Von Neumann solía decir que solamente tenerla en marcha «era como librar una batalla campal diaria». En una ocasión en que la máquina funcionó durante cinco días seguidos sin que le fallara un solo tubo sus inventores no acababan de creérselo.

El ENIAC gastaba tanta energía que, según la leyenda, cada vez que se conectaba, la luz perdía intensidad en toda la parte occidental de Filadelfia. Sin embargo, desde un punto de vista funcional, el tamaño de la máquina, su promedio de fallos y su consumo de energía no eran nada en comparación con lo que exigía cualquier reajuste de programación. A diferencia de los ordenadores modernos de uso general, que pueden pasar de procesamiento de textos a gráficos, o a juegos, con sólo introducir un disco blando, el ENIAC había sido diseñado fundamentalmente para hacer una cosa: computar tablas de disparo y bombardeo. Conseguir de él cualquier otra cosa era obra de romanos. Cada vez que se quería introducir en la máquina un tipo nuevo de problema había que reajustar conexiones y volver a conectar cables, una cosa tras otra, y todas ellas a mano. Como la máquina tenía miles de contactos y cientos de cables y enchufes exteriores, podía llevar hasta dos o tres días a una pareja de técnicos preparar el ENIAC para hincar el diente a un problema que luego tardaría unos minutos en computar.

Era pura locura. Circulaba entonces una idea que podría cambiar fundamentalmente el concepto mismo de lo que es un ordenador, una idea que ahora se conoce por el nombre de programación almacenada. Algunos historiadores del ordenador dicen que esa idea procedió en primer lugar de Von Neumann, otros se la atribuyen a Mauchly y a Eckert, y aun hay quien la asigna al matemático británico Alan Turing (Von Neumann había conocido a Turing en la Universidad de Cambridge en el verano de 1935, y luego Turing fue a Princeton a doctorarse. Von Neumann ofreció a Turing, que era más joven que él, el puesto de ayudante de investigación suyo en el Instituto, pero Turing lo rehusó, prefiriendo volver a Cambridge). En cualquier caso, fuera cual fuese su origen, lo cierto es que Von Neumann parece haber sido el que adoptó la idea de programación almacenada y la transformó en un sistema que funcionaba. Su idea consistía en colocar la programación en el interior de la máquina, no mediante cables interiores, sino, más bien, en forma de cargas e impulsos eléctricos. Esto sería una ventaja, porque permitiría controlar y cambiar las operaciones de la máquina sin necesidad de reajustar los cables, los contactos y los interruptores exteriores.

Sin embargo, este concepto de máquina controlada desde su propio interior iba en contra de la sabiduría convencional, y hasta del sentido común. Las máquinas siempre habían sido controladas desde *fuera*, por medio de botones, palancas, etc. Incluso las máquinas programadas, como el telar de Jacquard, se controlaban por medio de objetos tangibles —cinta magnética, tarjetas perforadas, etc.—, situados en su exterior y, con frecuencia,

separados incluso de la máquina misma. Aducir —como lo había hecho Von Neumann— que las máquinas también podían ser controladas desde dentro mediante impulsos eléctricos impalpables suponía un gran salto intelectual.

Von Neumann decidió que las funciones básicas de un ordenador —o sea, suma, resta, etc.— podrían ser incorporadas a su sistema de cables, convirtiéndolas en parte de su estructura física. Pero el orden y las combinaciones necesarias para el desempeño de estas funciones podrían ser añadidos en el equipo lógico. Para conseguir que una máquina atacase problemas distintos no sería necesario dar vueltas en torno a ella reajustando interruptores y volviendo a enchufar cables. *No habría necesidad de cambiar la máquina.* Bastaría con dejarla tal y como estaba, y limitarse a *cambiar las instrucciones.*

«Una vez que se den las instrucciones a la máquina», explicó Von Neumann, «ésta las llevará a cabo completamente y sin necesidad de nuevas intervenciones humanas».

El problema entra, y la respuesta sale. Sin dificultades ni complicaciones.

En la primavera de 1946, Johnny se dedicó en serio a construir un ordenador de su propio diseño en el Instituto de Estudios Avanzados. Sólo había dos obstáculos: el dinero y el visto bueno del profesorado del Instituto. El dinero fue lo más fácil. Lo difícil fue conseguir que los veteranos del Instituto le permitiesen construir una máquina en su sacrosanto recinto. Ni siquiera en el

Departamento de Matemáticas se recibió la idea con visible entusiasmo.

El departamento convocó una reunión para debatir el problema, y, según las actas, «en el debate se examinó el efecto que podría tener una actividad de este tipo en el progreso de las matemáticas y en el ambiente general del Instituto. Los puntos de vista personales expresados en el debate fueron diversos: desde el del profesor Siegel, que, en principio, prefiere computar cualquier logaritmo que aparezca en sus cálculos a ponerse a buscarlo en una tabla, hasta el del profesor Morse, que considera este proyecto inevitable, pero nada deseable, o incluso el del profesor Veblen, que acepta simplemente los progresos de la ciencia sin que parezca importarle adonde nos lleven» (las actas fueron preparadas por el propio Veblen, y se sabe que añadió a ella algún que otro acerbo comentario). A Einstein pareció darle igual: dijo, en broma, que un ordenador no pondría más a su alcance una teoría unificada de campo.

Los profesores de otros departamentos, como el de Estudios Humanísticos, mostraron menos entusiasmo aún. Incluso hoy en día algunos de los elementos más conservadores se muestran aterrados ante la idea misma de *construir algo*, lo que sea, en el Instituto de Estudios Avanzados. Harold Cherniss, especialista en filosofía griega clásica, llegó a ser profesor en 1948, cuando ya la máquina estaba siendo construida.

«Recordándolo ahora», rememora Cherniss, «se perciben argumentos de peso a favor de construir una máquina así. Pero yo seguiría



oponiéndome. El ordenador no tenía nada que ver con el objetivo que se había impuesto el Instituto en su fundación. El ordenador era una idea *práctica*, pero el Instituto no tenía por objeto ser práctico».

Por otra parte, Frank Aydelotte, que, para entonces, ya había cogido las riendas de manos de Abraham Flexner, estaba perfectamente dispuesto a pilotar el Instituto conduciéndolo por rumbos más prácticos. Esto ha ocurrido repetidas veces a lo largo de los años. Es como si, a pesar de su exaltada posición en el trono del Cielo Platónico, los directores del Instituto no estuvieran plenamente convencidos de que para un numeroso grupo de personas lo único realmente sano sea sentarse y ponerse a pensar.

Aydelotte, de todas formas, dijo a la junta de administración que, por complicado y lioso que pudiera parecer, este proyecto del ordenador era demasiado importante para que el Instituto lo pasase por alto.

«Pienso», dijo en una reunión de la junta, «que es razonable decir que la existencia de un ordenador de ese tipo abriría campos de conocimiento a los matemáticos, los físicos y otros estudiosos de la misma notable manera que el telescopio de Monte Palomar (entonces en construcción) promete abrir a la observación humana universos que ahora se encuentran por completo fuera del alcance de cualesquiera instrumentos actualmente existentes».

El nuevo ordenador sería, sin duda, un objeto tangible, pero a pesar de todo, se podría construir en el Instituto porque su *justificación* era teórica.

«A mi modo de ver», añadió, «es muy importante que el primer instrumento de esta calidad sea construido en un instituto dedicado a la investigación pura».

¿Cómo resistirse a tales palabras? Aquí teníamos a la mente más ágil y rápida de la civilización occidental, al hombre al que tuteaban neuronas y diodos, solicitando la insignificancia de cien mil dólares para poder seguir adelante con su trabajo. Von Neumann estaba ya pensando en la relación entre los cerebros mecánicos y biológicos, ¿quién sabía lo que podía salir de tales pensamientos? Y, naturalmente, había que tener en cuenta el hecho, nada insignificante, de que el hombre que estaba detrás de aquel proyecto era nada menos que nuestro gran amigo, Johnny el vividor.

En fin, le dieron los cien mil dólares. Pero eso no fue todo. La Radio Corporation of America participó con más dinero, y también el Departamento de Artillería Naval, el Departamento de Investigación y Desarrollo de la Armada, y la Comisión de Energía Atómica. El dinero dejó de ser problema; más aún, resultó mucho más fácil conseguirlo que ganarse el apoyo del profesorado del Instituto.

Año y medio después del encuentro de Von Neumann y Goldstine en el andén de la estación de ferrocarril de Aberdeen, Johnny empezó a contratar personal para su PCE (Proyecto de Computadora Electrónica) del Instituto de Estudios Avanzados. Ya había conseguido que Goldstine abandonase el proyecto ENIAC para incorporarse al Instituto, y consiguió también la ayuda de Arthur Burks. Burks era un hombre poco corriente, doctor en filosofía y conocedor de los circuitos eléctricos. Pero, además, había que

encontrar gente capaz de *construir* el aparato con sus propias manos. Von Neumann aportaría las grandes ideas, los objetivos, los principios generales del diseño, pero el manejo de la soldadora no era, evidentemente, parte de su repertorio. Para eso hacía falta un especialista.

El matemático del Instituto de Tecnología de Massachusetts Norbert Wiener recomendó a Julian Bigelow. Bigelow era graduado en ingeniería eléctrica y había trabajado durante algún tiempo en la IBM, pasándose luego al MIT, donde durante los años de la guerra fue ayudante de Wiener. Wiener y Bigelow estaban diseñando un mecanismo automático de puntería para cañones antiaéreos. La clave del problema era un procesador de datos, capaz de recoger información sobre la ruta de vuelo del avión, y de hacer luego una proyección sobre la manera de apuntar al cañón; si todo funcionaba debidamente, proyectil y avión coincidirían en un mismo punto e instante, produciendo una estupenda explosión.

En enero de 1946 Bigelow llegó a Princeton para tener una entrevista preliminar con Von Neumann. Llegó con un par de horas de retraso. Bigelow había hecho el viaje desde Massachusetts en el pequeño coche marca Willys de 1937 que tenía entonces, pero el coche no estaba en buena forma y tuvo que repararlo y darle ánimos durante el camino para que no se rindiera. Finalmente, cuando ya Von Neumann estaba a punto de rendirse, se detuvo ante su casa un vehículo decrepito que falleció allí mismo en medio de ruidosas humaredas. Julian Bigelow salió del coche y entró en la casa.

Bigelow cuenta que Von Neumann vivía en una elegante mansión situada en Westcott Road, en Princeton.

«Aparqué mi coche», cuenta, «y entré, y me encontré con un enorme mastín danés dando saltos y vueltas por el jardín. Llamé a la puerta y salió Von Neumann en persona, un hombre pequeño, silencioso, sin pretensiones, que me hizo una inclinación y me dijo: “Bigelow, haga el favor de entrar”, y unas cuantas palabras más, mientras el perrazo pasaba entre nosotros e iba al cuarto de estar, donde se echó tranquilamente sobre la alfombra. Empezó la entrevista: si estaba dispuesto a trabajar en el proyecto, lo que sabía sobre ese tipo de trabajo, y cosas así, que duró, aproximadamente, cuarenta minutos; durante todo ese tiempo el perro no hizo más que dar vueltas por la casa. Cuando terminamos Von Neumann me preguntó si yo había traído al perro en el coche, pero le dije que no, que no era mío, y resultó que tampoco era suyo, pero Von Neumann, persona muy diplomática a la manera centroeuropea, había evitado hablar del perro hasta el final de la entrevista».

Von Neumann le dijo a Bigelow que quería construir un ordenador de un tipo completamente nuevo, una máquina de alta velocidad, verdaderamente de uso general y capaz de almacenar programas. «Para empezar», dice Bigelow, «ese ordenador funcionaría en paralelo, sería capaz de almacenar programas, y sería muy sencillo, en el sentido de que tendría un número pequeño de operaciones matemáticas —suma y resta— que podría realizar con mucha rapidez. Von Neumann pensaba que éstas serían suficientes, ya que la multiplicación y la división se podrían programar con sumas-

restas condicionales. La idea consistía en que el aparato funcionase lo más rápidamente posible, a la mayor velocidad posible, y entonces la programación se ocuparía de lo demás. Von Neumann describió los niveles de velocidad que quería: transferencias de bits de un microsegundo aproximadamente. Pero acabó pensando que podría ser mejor programar también la operación de multiplicar».

La computadora se comenzó a construir en el sótano del Ful Hall, en la cámara de calderas, en junio de 1946, y Von Neumann, que hasta entonces había sido físico matemático, hubo de sumirse enteramente en la electrónica, y escribir cartas que decían cosas como éstas:

«Hay dos recientes (1944) pentodos diminutos que pueden interesarnos: el 6AK5 y el 6AS6... Los dos tienen excelente sistema de desconexión de la rejilla de control. El 6AK5 tiene conexión interior entre el supresor y el cátodo; el 6AS6, sin embargo, tiene el supresor aparte, y también tiene sistema de desconexión del supresor: -15v por +150V en la pantalla».

El Instituto quería trasladar este proyecto a otro edificio, para que no lo viera nadie y su existencia no turbara la paz mental de los veteranos, pero existía el problema de conseguir permiso municipal. Después de todo se trataba de un barrio residencial, uno de los más ricos y exclusivos de Princeton, y a sus residentes no les hacía ninguna gracia la idea de tener un taller de maquinaria —una fábrica de ordenadores— en el vecindario. El concejo se reunió para debatir la cuestión. «Y salió un idiota de los laboratorios de la RCA, doctor en química, nada menos, que dijo que no era aconsejable que

allí se construyera el ordenador porque haría demasiado ruido. *Pero no se iba a oír nada*», dice Bigelow. «Aunque estuviera uno justo delante del edificio *no se oiría* siquiera si nosotros estábamos trabajando dentro de él o no».

Los ingenieros pasaron un año metidos en la cámara de calderas, haciendo máquinas de prueba y diseñando el prototipo. En enero de 1947, el Instituto ya tenía el permiso del ayuntamiento para levantar el nuevo edificio, y su estructura empezó enseguida a crecer al otro lado del campus. Iba a ser un edificio grande, sencillo, de un solo piso, de estilo muy distinto al georgiano, separado de los demás edificios del Instituto por espacio, diseño y ambiente. El personal del ordenador se mudó en el verano al edificio del PCE.

El prototipo funcionó a la primera prueba. Y tan bien funcionó, según Bigelow, que «la primera vez que lo pusimos en marcha no necesitó ningún reajuste o arreglo». Luego compusieron la unidad completa, de cuarenta fases. «Von Neumann trazaba en la pizarra sus ideas a medio terminar y Goldstine las ajustaba y asimilaba, convirtiéndolas en algo capaz de ser incluido en el conjunto de la máquina». Por otra parte, con frecuencia Von Neumann no tenía más que ideas sumamente vagas sobre el aspecto técnico de la cuestión, y entonces debatía los problemas conmigo y los dejaba completamente abiertos a cualquier nueva apreciación. «Yo los meditaba a fondo», explica Bigelow, «y volvía con un circuito experimental, y mi grupo lo ponía a prueba».

Aunque la máquina del Instituto de Estudios Avanzados era un ordenador de programas almacenados, sus programas no se

escribían en ninguno de los idiomas actuales de alto nivel, como BASIC o Pascal, sino que estaban escritos directamente en un lenguaje exclusivo de la máquina con largas hileras de unos y ceros. Para que la máquina hiciera lo que hace hoy en día un ordenador moderno con sólo apretar la tecla de retroceso había que insertar una frase en el idioma de la máquina del orden de 1110101.

«No había siquiera lengua de ensamblaje», dice Bigelow, «ninguna de las tretas que conocemos ahora. Éste es un caso en el que Von Neumann se mostró tan inteligente, desde el punto de vista técnico, que no hubo obstáculo que no venciera. Y no le cabía en la cabeza que alguien, trabajando con ordenador, no fuera capaz de programar en código de máquina».

Para acabar de empeorar las cosas en ese refugio de la contemplación apacible, la prueba final de la máquina no fue una simple prueba inocente, como llevar a cabo un programa para averiguar los cinco mil primeros números primos. No, nada de eso, nada tan prosaico e inocuo. Von Neumann estaba trabajando en Los Álamos en el proyecto de la bomba de hidrógeno —muchas de las oficinas del edificio del PCE estaban reservadas para los científicos de Los Álamos que fueran allí de visita— y tuvo la idea de que uno de los cálculos necesarios para la reacción termonuclear podría hacerse en el ordenador del Instituto. El cómputo en cuestión era monumental, el más grande llevado a cabo hasta la fecha por un hombre o por una máquina, y consistía en más de mil millones de operaciones aritméticas y lógicas con el único objeto de averiguar si la reacción se propagaría de la forma deseada. De modo que el

primer problema consistió en averiguar si la bomba de hidrógeno explotaría. Y la respuesta fue: sí.

Bigelow dice que el cómputo lo llevó a cabo Marshall Rosenbluth en el verano de 1950, cuando la máquina tenía todavía pinzas de conexión. «Teníamos ingenieros encargados de mantenerla en funcionamiento, y funcionó durante sesenta días con sus noches», dice Bigelow, «con poquísimos errores. Trabajó bien. Y fue un cómputo realmente histórico».

Luego, en junio de 1952, cuando el Instituto acogió oficialmente el ordenador, el problema inaugural a que lo sometieron fue uno que cualquier matemático puro aceptaría. Trataba de la conjetura de Kummer, un problema relacionado con la teoría de los números primos. Von Neumann, para celebrar la inauguración, dio una fiesta más. En el cuarto de estar de la casa de Von Neumann había un modelo a escala del ordenador del Instituto de Estudios Avanzados. Estaba esculpido en hielo.

La máquina de Von Neumann era completamente automática, digital y de uso general. Era un ordenador de programa almacenado cuya arquitectura interior se convirtió en el modelo de las máquinas comerciales de la generación posterior. Por lo que se refiere a cualquier aspecto práctico —los cuales, por supuesto, no tienen nada que ver con el Instituto—, el proyecto de ordenador de Von Neumann fue un triunfo con todas las de la ley. Cuando la máquina funcionaba resolvía problemas de matemática abstracta, de física y de meteorología numérica. Hacía cálculos sobre la estructura interior de las estrellas y sobre la estabilidad de las órbitas en



aceleradores de partículas. Era verdaderamente una máquina de uso general.

Más importante que los problemas individuales que resolvía, la máquina de Von Neumann se convirtió en objeto de gran número de artículos y ensayos en el Instituto, obras de plena actualidad sobre la teoría y la práctica del cómputo mecánico. Tenemos, en este sentido, el «Primer borrador de un informe sobre el EDVAC», de Von Neumann, que contenía la primera descripción detallada de un ordenador universal de programa almacenado. Luego, también, «Problemas de planificación y codificación en instrumentos de cómputo electrónico», en tres partes, escrito en colaboración con Goldstine y Burks. Ahí aparece la idea de diagrama de flujo, y de programación en lenguaje de máquinas. Para fomentar la difusión del conocimiento, los autores se abstuvieron deliberadamente de atribuirse la autonomía de estos artículos, ni se preocuparon tampoco de patentar la máquina. Von Neumann y sus colegas hicieron todo el trabajo intelectual y llevaron a cabo todas las pruebas experimentales, y luego, siguiendo la tradición del científico académico, pusieron los resultados de sus esfuerzos a disposición de todo el mundo.

Como la máquina era nueva, y como los miembros del Instituto no sabían explotar su capacidad, algunos científicos del Instituto no consideraban apropiado que el nuevo cerebro electrónico estuviese acechando en la esquina, como si dijéramos. El matemático Deane Montgomery dice que nunca les surgían muchas cosas que requiriesen este tipo de ayuda electrónica. Pero, por encima de todo,

seguía flotando la idea de que los científicos del Auténtico Cielo Platónico no debieran manipular *mecanismos*. Freeman Dyson dice que los esnobs del Instituto no toleraban la presencia de ingenieros electrónicos, cuyas manos sucias mancillaban la pureza de aquel ambiente erudito.

Había gente de fuera del Instituto, que, como es natural, estaba dispuesta a utilizar el ordenador pagando por el tiempo que lo ocupasen, pero los veteranos del Instituto consideraban esto absolutamente inaceptable.

«No podíamos aceptar contratos de fuera», dice Julián Bigelow, «porque eso, en cierto sentido, sería corrupción, de modo que no manejábamos la máquina. Finalmente se hizo cargo de ella la Universidad de Princeton, que la utilizó durante tres años».

A fines de la década de los cincuenta, después de la muerte de Von Neumann, los profesores y los administradores del Instituto organizaron un comité para poner fin al proyecto del ordenador. Celebraron varias sesiones en la casa del director, justo en el cuarto de estar de Oppenheimer. «Esto fue cuando en el Instituto las cosas se hacían como es debido», según Cherniss, «todo el mundo se comportó con la mayor naturalidad».

El comité convocó a gente para que prestase testimonio, pero todo se hizo sin demasiado ruido, como los directivos de un club de caballeros cuando estudian la modificación de los estatutos. Hermán Goldstine, llamado a expresar su opinión, aceptó que la máquina ya no era un instrumento de investigación, sino que estaba lista para su desarrollo comercial. Otros también

confirmaron esta opinión, y, finalmente, los eruditos señores congregados en Olden Manor (la Vieja Casona) decidieron poner fin al proyecto. Pero, según cuenta Cherniss, se aprobó también una moción de carácter más general: una declaración que los comprometía a no practicar ciencia experimental, ni tener laboratorios de ninguna clase en el Instituto, y así se ha hecho desde entonces. Los padres del Cielo Platónico acabaron saliéndose con la suya, o, como dice Freeman Dyson, «los esnobs obtuvieron su venganza».

En 1958, cuando el ordenador de Von Neumann se retiró sin que ya nadie lo echase de menos, fue enviado a la Smithsonian Institution, donde ahora está expuesto. En cambio, en el Instituto de Estudios Avanzados, la habitación 1 del PCE, donde se ensambló el ordenador, no se considera como un lugar histórico. No hay ninguna placa o busto que conmemore el nacimiento, en ella, del primer ordenador de programa almacenado. La habitación, al final de un pasillo oscuro y solitario, contiene hoy las reservas de papelería del Instituto, y las cajas de archivadores, las resmas de papel y los sobres para la correspondencia interna llegan casi hasta el techo. Se podría pensar que es, en cierto modo, justicia poética el que en esa habitación haya también montones de ese inevitable artefacto de la revolución informática que es el papel de procesamiento de datos. Pero el mejor monumento a Von Neumann que tiene el Instituto está en otra parte: en las oficinas de John Milnor, cuyas investigaciones del conjunto de Mandelbrot serían imposibles sin el ordenador, y en las oficinas de Stephen Wolfram,

cuyas simulaciones por ordenador de los autómatas celulares deben mucho a la mente y a la obra de Johnny el vividor.

Durante los años de la guerra se diría que la mitad de los principales científicos del mundo se reunían en las frecuentes cenas que se celebraban en Los Álamos, esa ciudad secreta de las montañas de Nuevo México. En una de esas cenas, cuando la conversación giró en torno al tema de los extraterrestres, de la posibilidad de vida inteligente en otros puntos del universo, Enrico Fermi quiso saber solamente una cosa, que se convirtió en su famosa pregunta: Si los extraterrestres realmente existen, ¿dónde están?

El universo lleva miles de millones de años existiendo, razonó, tiempo sobrado para que hayan llegado a la tierra muchas oleadas de colonización extraterrestres. Los invasores debieran estar aquí, entre nosotros, por todas partes, quizá incluso obligándonos a hacer su voluntad. Pero el hecho es que no están. De modo que, si en realidad existen, la cuestión es muy sencilla: *¿dónde están?*

Los que creen a pies juntillas en la inteligencia extraterrestre tienen una respuesta muy buena a este tipo de pregunta, naturalmente. Los extraterrestres están en su sitio, de la misma manera que nosotros estamos en el nuestro. Por ejemplo Frank Drake, uno de los fundadores del movimiento llamado SETI (Search for Extraterrestrial Intelligence, [Búsqueda de Inteligencia Extraterrestre]), dice que esos seres han llegado a la conclusión de que los viajes interestelares no valen la pena, y prefieren «vivir cómodamente en los alrededores de su propia estrella».

Últimamente, sin embargo, algunos escépticos sobre la vida extraterrestre han vuelto al ataque con una nueva pregunta del tipo de la de Enrico Fermi: Si es cierto que hay tantísimos seres inteligentes esparcidos por todo el universo, la cuestión es: «¿*Dónde están sus máquinas tipo Von Neumann?*». A fin de cuentas, la máquina tipo Von Neumann es una constructora universal autorreproductora, un robot que hace copias de sí mismo con cualesquiera materias primas que haya a mano, y, si no precisamente a mano, un poco más lejos. Para llegar a contactar con otras civilizaciones lo único que tendría que hacer una especie inteligente es enviar una pequeña fuerza de vanguardia de máquinas tipo la de Von Neumann, y esas máquinas, tarde o temprano, se propagarían, proliferarían y dominarían al resto del espacio. «El punto clave», dice el matemático Frank Tipler, «sería que, si se enviara una máquina del tipo de la de Von Neumann a otro sistema solar, todos los recursos de ese sistema solar quedarían a disposición de la especie inteligente que controlara la máquina en cuestión; y entonces serían posibles toda clase de proyectos que, de otra manera, son demasiado caros». Pero el caso es que no encontramos máquinas extraterrestres del tipo de las de Von Neumann invadiendo el centro de Dallas o de Chicago, de modo que lo más probable es que, al fin y a la postre, no haya extraterrestres por ahí fuera.

Todo esto es un homenaje al cuidado con que Von Neumann describió esas «máquinas tipo Von Neumann», los autómatas autorreproductores que concibió, y cuya posibilidad teórica ningún

matemático o físico pone en duda hoy en día. Pero ¿por qué es así? ¿A qué se debe el que matemáticos y físicos, que suelen ser gente conservadora y no muy amiga de soñar despierta, estén unánimemente dispuestos a tomar en serio la idea de que máquinas toscas, incapaces de sentir y hechas con acero y engranajes entrelazados, puedan de la manera que sea lanzarse por el camino de la autorreproducción?

El meollo de la cuestión está en que la idea de las máquinas capaces de producir réplicas de sí mismas no es tan nueva como se piensa. Eso para empezar. René Descartes, el matemático y filósofo francés del siglo XVII, sostenía que los animales no son en realidad otra cosa que máquinas y que las personas son también máquinas con almas que les ha dado Dios. Según Descartes, no hay nada místico o inefable en los seres humanos o en los animales, por lo menos en cuanto a sus *cuerpos*: los cuerpos no son más que sistemas físicos que actúan según la ley natural, como todo lo que hay en el universo. El cuerpo del hombre, decía Descartes, «es una máquina que, por ser obra de las manos de Dios, está incomparablemente mejor organizada que cualquiera de las que salen de las manos del hombre».

Este punto de vista de Descartes recibe cierto número de nombres: materialismo, reduccionismo, mecanicismo, determinismo. En el fondo de todos ellos está el principio de que todo cuanto hay en el universo —es decir, todas las cosas *físicas* que contiene (las entidades imponderables, como las almas y los espíritus, son una cosa completamente distinta)— puede ser reducido a las

operaciones de la materia y el movimiento. «Todos los fenómenos naturales», decía Descartes, «se pueden explicar de esta manera; por consiguiente no creo que otros principios de la física sean necesarios o deseables».

Como filosofía de la ciencia, llevada a su extremo, esta teoría de la materia y el movimiento representa el máximo del optimismo por lo que se refiere a la capacidad humana de conocimiento de la naturaleza. Es el punto de vista de que una vez que conozcamos la acción recíproca de los átomos en sus detalles más sutiles, sabremos todo lo que hay que saber, no quedará nada que escape a la razón humana, nada misterioso al acecho entre los fenómenos, nada escondido, nada *colgando*. No hay espíritus invisibles, fuerzas vitales ocultas o desconcertantes vapores vivificantes cuya comprensión sólo está al alcance de la intuición o depende de la revelación divina. El misticismo muere y su muerte es grotesca y merecida, y el universo queda abierto al conocimiento, totalmente transparente a la mente humana.

Este punto de vista puede ser calificado de inmodesto, arrogante, lo que se quiera (¿merece, quizá, el calificativo de «epítome de hubris», de la arrogancia culpable?), pero el hecho es que se trata de un punto de vista básico para la ciencia. No hay posibilidad de que un científico en activo se pase la vida entera rompiéndose la cabeza sobre los fenómenos, tratando de aclarar las cosas, si está convencido de que en lo más hondo de la naturaleza, en su fondo, acecha lo arbitrario y lo incomprensible. «No me gustaría verme forzado a renunciar a la estricta causalidad», dijo Einstein en una

ocasión, «porque, en ese caso, preferiría ser zapatero remendón, o incluso empleado de una casa de juegos, a ser físico».

De modo que si la naturaleza está abierta a nuestra inspección, si no hay nada misterioso en la manera de funcionar de las cosas, ¿qué razón hay para que las máquinas no se reproduzcan? ¿Por qué razón no podemos explicarnos la manera de que se sirve la naturaleza para reproducir los cuerpos de los animales, y copiar ese procedimiento en máquinas artificiales? Las células producen células, los cuerpos humanos producen cuerpos humanos, de modo que ¿por qué no van a producir también máquinas las máquinas?

En junio de 1948, mientras sus especialistas en ingeniería electrónica estaban dedicados a construir un ordenador de verdad en el edificio del otro lado del campus, John von Neumann dio en Princeton una serie de tres conferencias sobre el tema de las máquinas autorreproductoras. (He aquí los ingredientes básicos de un guión sobre un genio matemático enloquecido: mientras sus subordinados ensamblan en el laboratorio de ordenadores un cerebro electrónico, el científico loco, con los pelos de punta, explica personalmente sus planes para crear una raza de monstruos autorreproductores que dominará el planeta. Naturalmente, la cosa no fue así..., pero, por otra parte, no mucho tiempo después de la conferencia de Von Neumann, otro matemático, Frank Tipler, tuvo visiones de máquinas extraterrestres tipo Von Neumann invadiendo la galaxia).

Después de las conversaciones de Princeton, Von Neumann dio en otros lugares versiones ampliadas de sus conferencias. Escribió en



parte sobre sus descubrimientos, pero murió antes de poder dar forma final a su teoría. Más tarde, Arthur Burks, que había trabajado en el ordenador ENIAC y en el del Instituto de Estudios Avanzados, preparó y completó la obra de Johnny sobre autómatas, publicando el resultado con el título de *Theory of Self-Reproducing Automata*. Casi sin duda su más brillante y original triunfo científico, la teoría de los autómatas, da coherencia a la obra de Von Neumann sobre lógica, computadoras y neurofisiología, mostrando que la propiedad más esencial de la vida, la reproducción, puede ser realizada por simples medios mecánicos.

Los mecanismos autorreproductores que inventó Von Neumann no son seres o criaturas del mundo real; son abstracciones: ficciones idealizadas, conceptuales, que existen solamente en la imaginación o en el papel. A pesar de todo, estas abstracciones contienen el plan básico de la autorreproducción en las máquinas.

El propio Von Neumann advirtió que hay que ser cauto en la definición de lo que se entiende por esto: «No se trata», dijo, «de producir materia de la nada», sino, más bien, de pensar en una producción de réplicas de máquinas con el mismo sistema de que se sirven animales, plantas y células individuales para producir su progenie. Esos seres no se reproducen *ex nihilo*, sino que se sirven de la materia prima que les rodea, y lo mismo ha de ocurrir con las máquinas: tendrán que disponer de una reserva accesible de piezas. «Imaginemos», decía Von Neumann, «que hay una reserva prácticamente ilimitada de esas piezas flotando en un gran depósito. Podemos imaginarnos un autómata que funcione de la manera

siguiente: también él está flotando en este medio; su actividad esencial consiste en recoger piezas y juntarlas, o, si hay grupos de piezas juntas, en desensamblarlas». Este mar de piezas de máquinas es el equivalente mecánico de la sopa primigenia de la tierra.

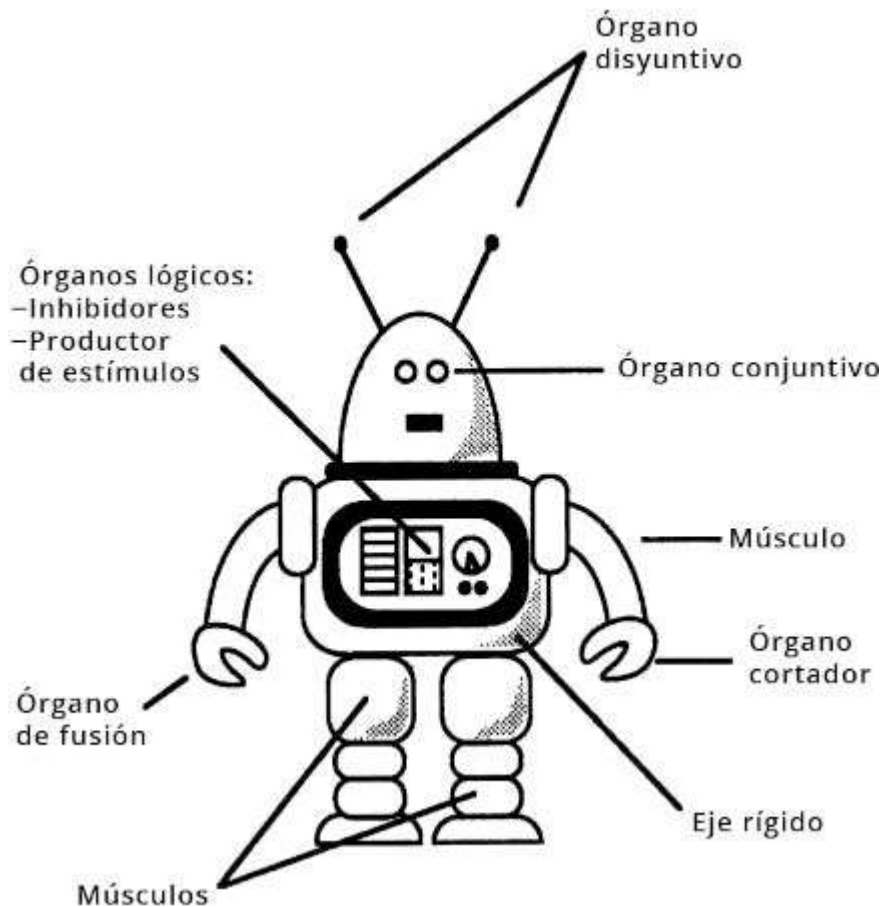
Todos los organismos de la tierra han surgido a lo largo de cadenas de desarrollo evolutivo completamente casual y accidental. No hay nada predestinado o necesario por lo que se refiere a los animales actualmente existentes; si las condiciones iniciales de la tierra hubieran sido distintas, o si hubiesen tenido lugar mutaciones diferentes, hoy en día tendríamos especies distintas de las que tenemos. Pero Von Neumann quería saber en qué consisten los mecanismos necesarios para la puesta en marcha de una evolución del tipo que sea. Quería encontrar el mecanismo autorreproductor mínimo necesario, el arquetipo platónico del génesis, por llamarlo de alguna manera. Y nada de milagros: solamente materia en movimiento.

En sus conferencias del Instituto, Von Neumann afirmaba que la máquina autorreproductora tendría que tener *por lo menos* ocho clases distintas de piezas: cuatro para el cerebro y cuatro para los músculos. El «cerebro» se compondría de órganos capaces de reaccionar a distintos tipos de estímulos externos. Por ejemplo, si se producen dos estímulos al mismo tiempo —dos piezas necesarias que chocasen con el organismo al mismo tiempo—, la máquina tendrá que enterarse de ello, para lo cual necesitará un órgano sensorial capaz de captar dos o más mensajes simultáneos externos

y reaccionar a ellos. Si el autómata —el robot— se ve bombardeado por toda clase de estímulos simultáneos cuando sólo necesita captar uno de ellos, tendrá que disponer de la facultad de seleccionar lo que necesita, y, además, necesitará una especie de reloj u órgano capaz de coordinar los actos de todas las demás piezas.

Por lo que al cuerpo se refiere, la máquina autorreproductora necesitaría un punto de Arquímedes, es decir, algo que se mantenga inmóvil con respecto al resto. Este punto se puede llamar miembro rígido o eje o parte central, y, con uno de estos miembros, o bien ensamblando dos o más, tendremos el esqueleto del autómata, sus huesos por así decirlo. El esqueleto puede ser interior, como el del hombre, o exterior, como el de las langostas, da igual, lo importante es que haya cierta medida de rigidez.

Si el robot tiene que juntar dos cosas que están flotando en torno a él en el mar de las piezas, tendrá que disponer de un órgano fusor, y, por la misma regla de tres, tendrá que tener algo capaz de separar o desensamblar dos o más cosas que ya estén unidas, o sea, que también deberá disponer de un órgano cortante. Y, finalmente, el robot necesitará algo que le permita poner en movimiento esos órganos, o sea: necesitará «músculos».




*Figura 5. Autómata cinético.*

Naturalmente, no hay modo de saber qué aspecto tendrían estos mecanismos autorreproductores, aunque es bastante fácil llegar a imaginar cualquier tipo de autorreproductores bonitos y graciosos (véase la Figura 5).

Por lo que se refiere al proceso de autorreproducción propiamente dicho, supongamos, dijo Von Neumann, que hay, flotando en el mar de las piezas, dos excelentes piezas centrales o ejes, y que el robot —que también flota por allí— las necesita con el fin de hacer una copia de sí mismo. Supongamos también que los mencionados ejes chocan con el órgano sensorial del robot, y que éste los ensambla.

El robot vuelve a hacer esto una y otra vez, siguiendo un plan preestablecido, y pronto veremos un esqueleto surgiendo del mar de piezas donde antes no había más que una colección de piezas flotantes. Pero la cuestión es: ¿de dónde le viene su «plan» al robot?

Veamos. Como el robot tiene órganos sensoriales, puede aprender la estructura de algún objeto —o incluso la suya propia— con sólo tocarlo, y entonces registrar lo esencial de esa estructura en alguna especie de código. Más tarde podría servirse de ese mismo código a modo de guía o proyecto para hacer otra versión del objeto de que se trate. Por lo que a al código se refiere, Von Neumann aplicaba un recurso de Alan Turing, que había descubierto que cualquier conjunto de planes o instrucciones se podía expresar por medio de una notación binaria, o sea, por una simple ristra de unos y ceros. Basándose en esto, Von Neumann propuso que sus autómatas emplearan un código binario, y mostró la manera de hacer una «cinta» binaria con los ejes o piezas centrales rígidas que flotasen en el mar circundante. La máquina tomaría cierto número de esos ejes

formando con ellos una cadena dentada: .

En cada intersección insertaría un eje vertical, que haría el papel del uno, o dejaría la intersección hueca, lo que equivaldría a cero.

Por ejemplo, la «palabra» en clave 010011 se escribiría de esta

manera: .

Una vez que la estructura de algún objeto estuviera escrita en código en algún «plano» o proyecto, al autómata le resultaría fácil duplicar el objeto descrito por el código. El autómata leería el plano

en la cinta binaria, seleccionaría los elementos necesarios en el mar de piezas flotantes que le rodeaba, y luego las ensamblaría según las instrucciones del plano. El resultado debería ser, normalmente, una copia perfecta del objeto en cuestión.

Esto, naturalmente, no sería *auto* reproducción, a menos que imaginemos que el autómatas ha aprendido su propia estructura y la ha fijado en clave en el plano; en principio, no hay ningún obstáculo que impida al robot hacer esto. La autorreproducción, por consiguiente, puede tener lugar de la manera siguiente. En primer lugar, tenemos los datos conocidos: el autómatas mismo, el mar de las piezas y el plano. Además, tenemos el mecanismo que hará una copia del plano. Y, finalmente, tenemos un órgano controlador que dirigirá todas las operaciones y hará que se lleven a cabo en la secuencia apropiada. Entonces es cuando empieza el proceso. Siguiendo las instrucciones del plano, el robot coge del mar de las piezas lo que necesita: ejes rígidos, partes de músculos, órganos al azar, y así sucesivamente; va juntando unas cosas y separando otras. Dispone ejes, órganos y todo lo demás, según las instrucciones del plano, de manera que la estructura del objeto reproduzca exactamente su propia estructura. En la fase final, el robot hace una copia de su propio plano y la fija a su prole, dando así lugar a una copia exacta del robot padre. Hemos asistido a la autorreproducción mecánica.

Lo extraño de todo esto era que, al concretar la forma de la autorreproducción, Von Neumann coincidía con el método mismo de que se sirve la madre naturaleza para llevar a cabo esa misma

tarea. Von Neumann había dilucidado el análisis abstracto de la reproducción de las máquinas en diciembre de 1949, cuatro años antes de que Francis Crick y James Watson explicaran el funcionamiento de la molécula del ADN. Y resulta que las moléculas del ADN se reproducen exactamente de la misma manera que Von Neumann consideraba que tendría que hacerlo cualquier máquina capaz de autorreproducción.

Como explica Freeman Dyson en su autobiografía, *Disturbing the Universe*: «Ahora todos los niños de la escuela superior aprenden la identificación biológica de los cuatro ingredientes de Von Neumann». El autómata mismo, que se encarga de la tarea de duplicar la máquina, equivale a los ribosomas de las células, las partículas que traducen la información genética a moléculas de proteínas. El mecanismo copiador, la parte del robot que hace una copia de su propio plano, equivale a los polímeros del ARN y ADN, las sustancias que combinan nucleótidos (ejes rígidos) para formar largas cadenas de ácidos nucleicos (la cinta inicial de tipo binario). El controlador, que dirige las operaciones del robot, equivale a las moléculas represoras y desrepresoras que regulan el desarrollo de los genes, haciendo que distintas células se desarrollen de maneras distintas. Y, finalmente, tenemos el plano mismo, que contiene, en clave binaria, la estructura del robot. Esto equivale a los materiales genéticos mismos, el ADN y el ARN, que contienen el código genético.

Según Dyson, «que sepamos, el diseño básico de cualquier microorganismo mayor que un virus es exactamente como Von Neumann dijo que tenía que ser».

Von Neumann llegó incluso a explicar de qué manera puede tener lugar la evolución a medida que las máquinas se reproducen. Puede producirse un aumento de complejidad, dijo, cuando el plano de un autómatas pasa por algún tipo de cambio. Supongamos, por ejemplo, que un autómatas que flota en el mar de piezas topa por casualidad con un eje rígido que flota junto a él. Si el eje toca al autómatas donde corresponde, el choque puede cambiar una parte del plano. Y entonces, cuando llegue el momento de la reproducción, el autómatas dará a luz una versión modificada de sí mismo, en lugar de una copia exacta de sí mismo. Se habrá producido una mutación, y, de esta manera, autómatas bastante primitivos — equivalentes, por ejemplo, a la complejidad de una ameba— pueden dar lugar, con el transcurso del tiempo, a otras entidades de relativa complejidad, como puede ser el hombre. Los autómatas artificiales pueden desarrollarse de la misma manera que los autómatas naturales, es decir, justo como se han desarrollado los animales. La complejidad es el factor decisivo. Por debajo de un cierto mínimo de complejidad, los autómatas degenerarán hasta convertirse en mecanismos más sencillos, pero por encima de ese nivel, afirma, «el fenómeno de síntesis, si se dispone debidamente, puede llegar a ser explosivo». Se podría producir una verdadera carrera de hombres de metal cuyo origen estuviera en una colección de tuercas, tornillos y



otras piezas que vayan entrechocando por un mar primigenio de autómatas. John von Neumann, el Charles Darwin de los robots.

El análisis de Von Neumann de autómatas tridimensionales «cinemáticos», o sea, móviles, no fue, ni con mucho, la última palabra por lo que se refiere a la teoría de los autómatas. En realidad no fue más que el comienzo. Stanislaw Ulam, colega de Von Neumann en el Instituto, y más tarde en Los Álamos, sugirió en una ocasión que Johnny debía investigar un marco para los autómatas abstracto, bidimensional y semejante a un tablero de ajedrez. Ulam se había servido de un sistema parecido de espacios granulares o «celulares» para estudiar el crecimiento de los cristales, y más tarde Von Neumann investigó si un espacio celular de extensión indefinida podría ser adecuado para la autorreproducción de autómatas celulares. Mientras respondía —afirmativamente— a esta pregunta, Von Neumann creó toda una rama nueva de las matemáticas, la teoría de los autómatas celulares.

Ésta fue la teoría más abstracta, más elevada de Von Neumann, la más digna del Cielo Platónico. Estas entidades lógicas, definidas solamente por funciones matemáticas, viven, mueren y se reproducen en vastas redes bidimensionales y abstractas de espacios imaginarios. Una vez programadas en ellos las funciones adecuadas, la marcha de los autómatas celulares por esa red abstracta se acercará a la evolución y el desarrollo de los sistemas físicos naturales.

Por exótica que pueda ser la idea de los autómatas celulares autorreproductores y bidimensionales, estas entidades resultaban

muy aceptables a ojos de los demás miembros del Instituto de Estudios Avanzados. Los autómatas celulares no eran, a fin de cuentas, más que *abstracciones*, arquetipos platónicos, o sea, lo que interesa al Instituto. Ocurre, sin embargo, que los autómatas celulares tienen también una importancia práctica y tangible. De la misma manera que los robots tridimensionales de Von Neumann elucidaron el proceso de autoduplicación de los organismos vivientes, un futuro miembro del Instituto, Stephen Wolfram, aduciría más adelante que los autómatas de Von Neumann tienen una importancia amplia y profunda para la comprensión de la naturaleza, y que, en realidad, puede que se trate del mismo tipo de mecanismos matemáticos causantes de la complejidad del universo. Las operaciones internas de los autómatas celulares, según Wolfram, constituyen una especie de «equipo lógico natural». Tenga razón en esto o deje de tenerla, lo que es absolutamente seguro es que Wolfram no hubiera podido desarrollar su argumento sin ayuda del instrumento en cuyo desarrollo Von Neumann había tenido un papel decisivo: el ordenador digital electrónico.

## Sección 6

### El hombre de nim, nim, nim

El hombre que dentro de poco más de dos años será el nuevo director del Instituto de Estudios Avanzados se agarra a una columna, una de las que sostienen las vigas del techo, y piensa: «Tengo que mantenerme consciente».

Decir que está tenso no sería suficiente para describir el estado en que se encuentra. Cogido a esa columna, sus ojos grises otean el panorama de técnicos e instrumentos que se abre ante él; es un científico alto y delgado, escuálido, casi sin carne, que apenas respira. El reloj marca las 5.29 de la mañana, pero aquí hay tanta luz como si fuera de día; nos encontramos en el búnker de control del sur, cuyo espacio es de nueve kilómetros. La luminosidad proviene de los reflectores, enfocados sobre una hilera de pantallas de instrumentos llenas de botones, interruptores, voltímetros, osciloscopios, luces de colores, relés, condensadores, mecanismos sincronizadores periódicos, circuitos de activación. Todos estos ingenios están ahora bañados en una brillante luz amarilla, para que las cámaras cinematográficas puedan filmar los movimientos de las pantallas que registran los mensajes electrónicos del apocalipsis, el fin del mundo que está a punto de tener lugar... dentro de cuarenta y cinco segundos exactamente.

Los instrumentos están conectados con cables que cuelgan del techo como vides de un emparrado. Los cables van todos en la misma dirección, hacia la torre de impacto del nivel cero, a unos

nueve kilómetros de distancia. En la cima de la torre está la primera bomba atómica del mundo, una bola de aspecto malévolo y de casi dos metros de diámetro, hecha de cables, lentes de implosión y detonadores, a la que todos los que participan en su manejo llaman «el artilugio». En este momento esa bomba es objeto de la atención de todos: Sam Allison, que inicia la cuenta atrás; Don Hornig, con el dedo en el conmutador de parada, listo para detener la operación si a algún ranchero borracho se le ocurre de pronto aparecer en la zona de explosión; George Kistiakowsky, técnico en explosivos, que ha apostado al director del proyecto diez dólares contra su sueldo de un mes a que el proyecto funcionará. Unos veinte hombres se encuentran en el cuarto de control esperando a que pasen los últimos momentos de la eternidad y se produzca un acontecimiento que lindará con lo sobrenatural.

La voz de Sam Allison, contando los últimos, largos segundos, resuena en todo el llamado Solar Trinidad:

—Diez... nueve... ocho...

Y el eco repite sus palabras en todo el ámbito de 9000 metros del refugio de observación donde el físico de Princeton Robert Wilson está inquieto porque, a causa del viento, la nube en forma de hongo va a derivar directamente sobre sus cabezas. La cuenta atrás resuena por todo el campamento de la base, donde I. I. Rabi y Enrico Fermi están echados sobre la arena del desierto, de espaldas al lugar de la explosión. En la colina de Compania, a unos treinta kilómetros al noroeste, Richard Feynman, Hans Bethe y Edward Teller escuchan por radio:

—Siete... seis... cinco... cuatro...

En el principal bunker de control, Sam Allison, en los últimos segundos de una época que termina:

—Tres... dos... uno...

Se da cuenta de que la explosión puede enviar un impulso electrónico hasta el micrófono que tiene en la mano en ese momento y electrocutarle. Suelta el micrófono como si ardiera y grita con toda la fuerza de sus pulmones:

—¡Cero!

Se produce un silencio en el que parecen pararse hasta los latidos de todos los corazones, el mundo, el tiempo mismo... Y, de pronto, una de las pantallas se satura de un resplandor vibrante, fantasmal, como si un rayo acabase de caer justo en el vano de la puerta..., y en ese instante cegador, mientras el trono del destino se estremece por el aire y por la tierra y se levanta del suelo del desierto una bola de fuego fundido, los siguientes versos del Bhagavad Gita se presentan súbitamente en la mente de J. Robert Oppenheimer, el hombre que está cogido a la columna:

*Me he transformado en la muerte  
destructora de mundos.*

En este momento J. Robert Oppenheimer es el hombre menos apropiado para ser el próximo director del Instituto de Estudios Avanzados.

Su papel de «padre de la bomba atómica» fue solamente uno de los muchos que representó Oppenheimer a lo largo de su existencia. Al

fin y al cabo fue Oppenheimer el que consiguió que los científicos más importantes del mundo convergieran en una mesa desconocida del desierto de Nuevo México, sin decirles antes adónde iban, ni cuánto tiempo iban a estar allí, ni qué era exactamente lo que iban a hacer cuando llegasen. Pero él se las arregló para que su invitación resultara irresistible. Según afirmó Robert Wilson mucho más tarde, «el proyectado laboratorio que nos describió Oppenheimer parecía romántico, y resultó serlo. Todo lo relacionado con ese laboratorio iba a estar envuelto en el mayor secreto, y todos los que trabajásemos en él formaríamos parte del ejército y desapareceríamos en un laboratorio situado en lo alto de una montaña de Nuevo México».

«Hasta la localización era ambigua», recuerda el físico John Manley, «Oppie, que conocía la región, me había dicho que el laboratorio estaría en algún lugar de los montes “Hamos”. Pero lo cierto es que no conseguí localizar esos montes en ninguno de los mapas que pude mirar. Luego resultó que eran montes “Jemez”, pero ¿cómo iba a adivinarlo yo, sin saber una palabra de castellano?».

Oppie atrajo a sus científicos sacándolos de sus cátedras, de sus ciclotrones, de sus laboratorios. Llegaron de Princeton, de Harvard, del Instituto de Tecnología de Massachusetts, de la Universidad de Chicago. Y cuando todas esas personas, procedentes de la parte oriental del país y acostumbradas a ver los grises edificios de oficinas de Nueva York y Boston, se bajaron del tren en Lamy, Nuevo México, un poblacho desierto habitado por cincuenta personas, no acababan de creer lo que estaban viendo sus ojos. Y es

que allí *no había nada*. Se veían solamente unas colinas en la lejanía, un grupo de árboles aquí y allá, y la estacioncilla de adobe de estilo mexicano. Y eso era todo. Por mucho que se mirase vía férrea adelante y vía férrea atrás, a lo largo de cincuenta, sesenta, setenta y cinco kilómetros..., *no se veía absolutamente nada*.

Pero, tranquilos, una furgoneta o camión militar vendría a recogerles, y así fue, y al cabo de un rato de ir por el desierto los científicos toparon con el paisaje más espectacular que habían visto en sus vidas..., pasaron por extrañas formaciones rocosas bañadas por el dulce aroma de la salvia..., el desierto que cruzaban se extendía en todas las direcciones hasta ochenta o cien kilómetros. Muy a lo lejos, en el horizonte, rielando a través de una trémula neblina roja, se atisbaba una cadena de montañas coronadas de nieve que parecían estar suspendidas, inmóviles, en el aire. Y por encima de ellas, un increíble cielo azul palpitante que parecía arquearse, abovedarse, hasta el infinito. Era edificante, se apoderaba de la mente..., casi le arrancaba a uno los ojos sólo de mirarlo.

No tardaron en pasar junto a unos acantilados rojos, bajos, y luego junto a otros más altos, y enseguida el coche se dirigió a las montañas, hasta el laboratorio secreto, situado en la cima, por un camino de tierra apisonada que subía serpenteante, flanqueado a ambos lados por aterradoras pendientes perpendiculares. I. I. Rabi recuerda que el aire era claro y suave, «los montes de la Sangre de Cristo se veían con precisión, bien delineados, y la mesa al otro lado..., ¡precioso! El viaje por aquel camino viejo fue algo aterrador

pero muy interesante; el viejo puente y, por supuesto, los indios; íbamos a entrar en un nuevo mundo, en un mundo místico, eso saltaba a la vista».

En la cima del monte reinaba J. Robert Oppenheimer como sabio omnisciente, administrador omnipotente, místico en jefe. Los cañones y desfiladeros de Los Álamos eran un segundo hogar para él. Sus dos amores eran la física y Nuevo México, y solía pasar los veranos en un rancho al que había dado el nombre de Perro Caliente, «Hot Dog» en inglés, que es lo primero que le vino a la mente cuando vio aquel lugar por primera vez. Allí Oppie representaba otro de sus grandes papeles: el de *cowboy* mexicano. Según su amigo Francis Fergusson, «llegó a explorar gran parte de las montañas, y probablemente las conocía mejor que ninguna otra persona. Salía, montaba a caballo, se metía una tableta de chocolate en el bolsillo y se pasaba uno o dos días por ahí».

«Yo», dice el físico Robert Serber, «nunca había montado a caballo. Bueno, nos daban mapas y nos enviaban tres días por ahí por los desfiladeros, a más de tres mil metros de altura. Llevábamos lo mínimo imprescindible: una botella de whisky, galletas, avena para el caballo».

En Los Álamos, Oppie era el señor de un selecto grupo de científicos —«la mayor colección de intelectuales que se ha visto», según el general Groves—, los elegidos para salvar la civilización occidental de manos de tres locos metafísicos: Hitler, Hirohito y Mussolini.

Estamos en 1943. Unos pocos años antes, en 1938, Otto Hahn y Fritz Strassman habían descubierto que el átomo de uranio podía



ser desintegrado. Al año siguiente, Frédéric Joliot-Curie publicó en *Nature* un artículo en el que demostraba que cada fisión emitía tres o cuatro neutrones, o sea, que era posible una reacción en cadena, una reacción explosiva en cadena. Por increíble que parezca, un trozo de materia del tamaño de una naranja podía, si las circunstancias eran las apropiadas, ser convertido en energía cinética fundida. La madre naturaleza demostraba tener tendencias de lo más extrañas: uno de sus auténticos hijos, uno de los elementos que se producen de manera natural —el número noventa y dos de la tabla periódica— podía ser transformado en... una bomba.

Por lo menos ésta era la teoría. Martin Klaproth descubrió el uranio allá por 1789, y en los ciento cincuenta años siguientes nadie lo había visto... explotar. Pero Oppenheimer y su equipo de físicos iban a partir de esta pura posibilidad teórica y hacerlo explotar a voluntad.

La conversión de materia en energía que tuvo lugar en el desierto una mañana de 1945 llevó a la ciencia a un punto sin retorno. La ciencia ya no era un tanteo abstracto, efímero, de los secretos de la naturaleza, ahora la ciencia se convertía en un instrumento que había probado la sangre, en un instrumento de guerra y muerte, y Oppenheimer, probablemente más que cualquier otro individuo viviente, era el responsable de esta situación completamente nueva. Y, sin embargo, dos años después de la explosión de Solar Trinidad, el padre de la bomba atómica iba a subir al trono del Único

Auténtico Cielo Platónico, iba a ser nombrado director del Instituto de Estudios Avanzados por un período de diecinueve años.

Mientras el mundo exterior se lanzaba a la guerra, unos pocos miembros del Instituto de Estudios Avanzados lo hacía también con gran disgusto de Abraham Flexner. Aunque ya no era director, Flexner seguía siendo uno de los administradores del Instituto, y una cosa que a él le parecía esencial era que los profesores del Instituto tenían que seguir en sus puestos contra viento y marea. Después de todo, al firmar sus contratos de permanencia, se habían comprometido a dedicar al Instituto toda su atención y todo su tiempo, y Flexner no veía razón alguna para que la guerra cambiase eso. Sin embargo, casi todos los miembros del Instituto, entre ellos el entonces director Frank Aydelotte, participaban en algún tipo de trabajo relacionado con la guerra, y algunos de ellos incluso fueron a Europa, como el matemático James Alexander, que trabajó en Inglaterra en el cuartel general de Bombarderos colaborando en la investigación para mejorar la puntería de los aviones de combate.

Lo más corriente era, sin embargo, que los miembros del profesorado del Instituto permanecieran en él, haciendo desde allí lo que podían por el esfuerzo bélico. El profesor Erwin Panofsky, famoso historiador del arte, preparaba mapas e informes sobre monumentos culturales de Alemania, también para uso de los bombarderos norteamericanos. Muchos de los científicos, entre ellos Marston Morse, Oswald Veblen y John von Neumann, hacían trabajos de asesoramiento militar, e iban y venían entre el Instituto y el Centro de Pruebas de Aberdeen, en el estado de Maryland. John

von Neumann, por su parte, también estuvo en Los Álamos. El único miembro del profesorado que no participó en absoluto fue Albert Einstein.

No es que se mostrara reacio a hacer algo. Fue Einstein, después de todo, quien, junto con Leo Szilard, que fue quien le instigó a ello, escribió la famosa carta de 1939 a Roosevelt informándole de que se podían hacer «bombas de tremenda potencia» con materiales fisionables como el uranio, y aconsejándole «apresurar el trabajo experimental» que estaba teniendo lugar entonces. Einstein estaba perfectamente dispuesto a hacer más para ayudar a construir la bomba. En diciembre de 1941, Vannevar Bush, director del Departamento de Investigación y Desarrollo Científico, pidió ayuda a Einstein para resolver ciertos problemas relacionados con el método de difusión gaseosa de separación del U-235 de otros isótopos de uranio. Einstein accedió con gusto, y ofreció a Bush su consejo en un texto manuscrito, añadiendo que estaría encantado de hacer más, pero que, para ello, necesitaba cierta información.

Bush, sin embargo, no quiso dar más información a Einstein, porque, como físico alemán, estaba considerado como un riesgo para la seguridad norteamericana.

«Mucho me gustaría explicárselo todo y darle toda mi confianza», dijo Bush a Aydelotte, «pero es completamente imposible en vista de la actitud de cierta gente de Washington que ha examinado detenidamente su historial».

Por consiguiente Einstein pasó los años de la guerra en el Fuld Hall, trabajando, según una publicación del Instituto, en «medios

posibles para la elaboración de una teoría unificada de la relatividad».

Al final de la guerra el Instituto contaba ya con un total de noventa y dos miembros y profesores. Cuatro de los primeros profesores, entre ellos Einstein, se habían «retirado» oficialmente, pero, como el Instituto insistía en indicar en su boletín anual, «en todos estos casos se trata de un retiro puramente técnico, y los cuatro miembros del profesorado que mencionamos prosiguen su trabajo científico y sus actividades se registran normalmente en los apartados dedicados al departamento de que forman parte». Su retiro era tan «técnico» que Einstein y Veblen —a ninguno de los cuales hacía gracia retirarse— seguían cobrando su sueldo íntegro y asistiendo a las reuniones del profesorado exactamente igual que si siguieran siendo miembros normales de él. El principal cambio importante consistía en que ahora se les citaba en el boletín con el título de «profesores eméritos».

El Instituto tenía entonces su propio claustro particular, y los profesores contaban con oficinas nuevas en el Fuld Hall. Habían incorporado también una radio en la sala de estar, donde asimismo se celebraban bailes los sábados por la noche. Durante la semana las mujeres de los profesores daban té en ella. Y en la pradera que se extendía ante la entrada del Fuld Hall se instaló un campo de petanca. Los miembros del Instituto no sentían gran interés por este juego, por lo que éste no tardó en desaparecer. En cambio dedicaban más tiempo al coche Ford del Instituto, que hacía viajes

diarios de ida y vuelta entre el Fuld Hall y el Fine Hall, situado en el campus de Princeton.

Detrás de este exterior bucólico, proseguían las mismas luchas internas, la mayor parte de ellas, como de costumbre, localizadas en torno al director. En 1945, Frank Aydelotte cumpliría sesenta y cinco años, lo cual, según los estatutos, significaba que tendría que dejar la dirección. Pero no todo el mundo estaba de acuerdo con ello. Por un lado, seguía aún vivo en la mente de muchos el recuerdo de cómo Abraham Flexner había llegado a ser un dictador en su vejez, y a nadie le apetecía volver a pasar por una cosa así, de modo que vista desde esta perspectiva, la desaparición de Aydelotte parecía bien. Por otra parte, Aydelotte era cuáquero, persona amable y pacífica, que en general dejaba a la gente hacer lo que quería, y, visto así, cualquier cambio en el *statu quo* parecía negativo.

Aydelotte no era un gran científico o un erudito, pero los profesores del Instituto no se lo tenían, en absoluto, en cuenta. Einstein llegaba incluso a decir en broma que un buen director tenía que ser «un poco estúpido», porque así no se pasaría todo el tiempo forjando planes de aspecto progresivo, proyectos y nuevas directrices de base. Lo que más temían los miembros del Instituto era precisamente «nuevas directrices», o algo que se le pareciera. Como había dicho Oswald Veblen en una carta a uno de los administradores: «Hay entre nosotros una firme sensación de que, en el momento actual, sería un error poner en el Instituto un director nuevo que llegue aquí con una política preconcebida». La

sensación general era que Aydelotte debía continuar durante un tiempo, a pesar de los estatutos y del deseo de Aydelotte mismo de abandonar su puesto.

Y esto fue lo que dio lugar al Motín Número Dos del profesorado.

En el otoño de 1944, el profesorado del Instituto convocó una reunión especial y aprobó una resolución que decía, entre otras cosas, que «el director actual sabe trabajar con científicos y eruditos»; esto, naturalmente, era una indirecta contra Abraham Flexner, que no había sabido hacerlo. «Y, como consecuencia de esto», proseguía la resolución, «existe actualmente un espíritu de armonía y cooperación eficaz en el Instituto, que ha dado como resultado importantes logros en estos cinco últimos años». (No se trataba de simple jactancia. A pesar de las interrupciones causadas por la guerra, las publicaciones de miembros del Instituto en 1943 y 1944 habían superado en volumen a las de cualquiera de los años anteriores). El profesorado, por lo tanto, quería que el actual director continuase en su puesto, pero, en el caso de ser esto imposible, tenían una proposición que hacer: aventuraban la idea, realmente chocante, de que quizás el profesorado pudiera arreglárselas muy bien sin director de ninguna clase, que el Instituto podría funcionar sin director. (Más adelante, Oppenheimer propuso con la mayor seriedad que el Instituto podía funcionar *sin profesorado*. Es posible que el único Auténtico Cielo Platónico sea precisamente aquel en el que no haya *gente*, ni más habitantes que una colección de espectros).

Esta idea herética la había fomentado, aunque de manera completamente inconsciente, el mismo Aydelotte al haber otorgado al profesorado más influencia que Flexner en la marcha del Instituto. Un símbolo de esto era que, cuando preparaba para su publicación el texto del Boletín anual del Instituto, Aydelotte escribía siempre la palabra «profesorado» con P mayúscula, mientras Flexner usaba invariablemente la minúscula. En diciembre de 1945, Aydelotte aceptó la invitación del presidente Truman a formar parte de la Comisión Conjunta Anglonorteamericana sobre Palestina. Con este motivo pasó cinco meses ausente del Instituto, pero, a pesar de todo, éste siguió funcionando, no se sabe cómo, regido por una comisión de profesores que tomaba las decisiones necesarias; este sistema funcionó tan bien que ahora el profesorado estaba convencido de que lo mejor sería hacerlo así con carácter permanente.

Veblen, que con frecuencia parecía ser la verdadera eminencia gris del Instituto, sugirió entonces que éste tuviese «un rector, y no un director», y que este nuevo cargo, que tendría mucho menos poder que el de director, cambiase, por rotación, cada dos años.

De todo eso no salió nada. Después de las rencillas de rigor en las reuniones de las comisiones, resultó que Aydelotte estaba dispuesto a quedarse en el puesto hasta que se le encontrase sucesor. Y, lo que era más importante, el Instituto continuaría teniendo director, y no, como había propuesto Veblen, «un rector».

Los administradores formaron una comisión especial para recomendar un sucesor a Aydelotte, y el profesorado hizo lo mismo.

La comisión de profesores constaba de tres miembros: los profesores James Alexander, del Departamento de Matemáticas, Edward Mead Earle, del de Economía y Política, y Erwin Panofsky, del de Estudios Humanísticos. A comienzos de 1946 la comisión de profesores envió al resto del profesorado una lista de siete candidatos, dispuesta en el siguiente orden:

1. Dr. J. Robert Oppenheimer, físico, Universidad de California.
2. Dr. Detlev Bronk, fisiólogo y físico, de Filadelfia.
3. Dr. Harlow Shapley, astrónomo, director del Observatorio de Harvard.
4. Señor Frederick Osborn (antes general de brigada).
5. Profesor Edward S. Masón, economista, de la Universidad de Harvard.
6. T. C. Blegen, historiador, decano de las escuelas superiores, Universidad de Minnesota, y
7. Profesor E. Harris Harbison, historiador, Universidad de Princeton.

Tres semanas después la comisión de profesores añadió dos nombres más a la lista, proponiendo así, en total, nueve candidatos a la dirección del Instituto:

8. Dr. Henry E. Sigerist, historiador de la medicina, Universidad Johns Hopkins, y
9. Señor Lewis L. Strauss (antes contraalmirante), uno de los administradores del Instituto de Estudios Avanzados.



Poco tiempo más tarde el profesorado en pleno se reunió en comida de trabajo para debatir la cuestión de las candidaturas. Redujeron la lista a cinco nombres, que dispusieron por orden alfabético: Blegen, Bronk, Masón, Oppenheimer y Strauss. La junta de administradores, por su parte, añadió a la nueva y reducida lista del profesorado, el nombre de Linus Pauling, pero no opuso objeciones a los demás candidatos. Por alguna razón que se desconoce, el nombre de Lewis Strauss siguió en la lista, a pesar de que carecía casi por completo de méritos para el puesto.

Strauss, que pronunciaba su apellido a la inglesa: «Stroos», como era costumbre en su viejo estado natal de Virginia, era un hombre que se había hecho a sí mismo en todos los sentidos de la palabra. Empezó vendiendo zapatos al por mayor en lo más profundo del sur norteamericano, e iba con los cajones llenos de muestras por todas las ciudades de minas de carbón de Virginia Occidental y Carolina del Norte. No había ido a la universidad, pero supo darse a sí mismo una especie de cultura. En sus días de descanso solía estudiar derecho, latín y ciencias, pero donde de verdad aprendió fue en la escuela cotidiana, dura y pragmática, del mundo de los negocios.

Strauss fue a Wall Street, donde hizo una pequeña fortuna trabajando como socio en la empresa de banca internacional Kuhn Loeb Se Company. En 1941 ingresó en la marina de guerra, donde acabó llegando a contraalmirante. Tenía verdadero talento para sacar el mejor partido posible de cualquier circunstancia, y un instinto casi milagroso para administrar dinero. Fue indudablemente esta última cualidad lo que llevó al Instituto de

Estudios Avanzados a elegirle para la junta de administración en 1945, y lo que indujo a Oswald Veblen a proponerle como director en un discurso que uno de los profesores calificó de «largo y ocurrente».

Igualmente sorprendente, por lo menos a ojos de algunos, fue el nombre de J. Robert Oppenheimer. La idea de que «el padre de la bomba atómica» pudiese ser director del Único Cielo Platónico resultaba completamente absurda, y el profesor Benjamín Meritt, el conocido epigrafista griego, no reflejaba sólo su opinión cuando afirmó que esperaba que no fuese nombrada una persona «tan íntimamente asociada con la bomba atómica». Aparte de la cuestión de la bomba, estaba también el hecho de que Oppenheimer ya había sido propuesto para el puesto de profesor y pasado por alto en favor de otro. Que un hombre a quien no se había considerado bastante bueno para profesor lo fuese ahora para director, parecía igualmente absurdo. Pero, absurdo o no, era una realidad.

Oppenheimer era un científico y el artífice de La Bomba, pero también era poeta y autor de narraciones cortas. Escribía poemas desde los diez o doce años, y, más tarde, en Harvard, había publicado en la revista literaria de vanguardia *Hound and Horn*. Estudió filosofía, literatura e idiomas. Conocía ocho idiomas y solía leer los diálogos de Platón en el original griego, y el *Bhagavad Gita*, el antiguo poema hindú, en el original sánscrito. En una ocasión en que un par de amigos suyos —Fritz Houtermans y George Uhlenbeck— estaban leyendo a Dante en italiano, Oppie se sintió marginado, y en vista de ello pasó un mes aprendiendo ese idioma,

de modo que, al cabo de ese tiempo, pudo participar con ellos en esas lecturas. En los Países Bajos recibió una vez el encargo de participar en un seminario de física, y lo hizo con mucho gusto, dando su conferencia en holandés, «aunque», confesó, «no creo que fuera un holandés muy bueno».

Oppenheimer se había sentido interesado por la ciencia desde muy temprano —hacia los cinco o siete años más o menos—, concretamente desde una ocasión en que su abuelo le dio una colección de minerales. «A partir de entonces me volví, a la manera infantil, ardiente coleccionista de minerales, y terminé teniendo una colección bastante buena». Más tarde sintió interés por la química, y cuando fue a la Universidad de Harvard pudo estudiar un programa de ciencia de cuatro años de duración normal en sólo tres años, consiguiendo graduarse en química *summa cum laude* en 1925.

Por entonces Estados Unidos no era el primer país en cuestión de física; el centro mundial de la física era Europa. En vista de ello Oppie se fue a Inglaterra, donde abrigaba la esperanza de poder estudiar en Cambridge bajo la égida de Ernest Rutherford. «Pero Rutherford no me quiso aceptar... Mis credenciales eran peculiares, y nada impresionantes; desde luego, no se lo parecieron a un hombre con tanto sentido común como Rutherford», de modo que Oppie tuvo que ponerse a estudiar con J. J. Thomson. Enseguida, sin embargo, Oppie llegó a la conclusión de que él no estaba capacitado para ser investigador experimental. Gran parte del trabajo de laboratorio le parecía innecesario: «Pienso que mi intención era aprender el arte de construir películas delgadas,

quizás a fin de aplazar la cuestión, más difícil, de decidir qué hacer con ellas», comentó Oppie después de una sesión de laboratorio, «y lo cierto es que hice ciertas películas de berilio..., pero les ahorraré a ustedes el relato de lo mal que lo pasé al tratar de evaporar el berilio hasta transformarlo en colodio, y luego hacer desaparecer el colodio, y así sucesivamente».

Oppenheimer se hizo físico teórico en Göttingen, donde estudió con Max Born. Ambos colaboraron en un ensayo sobre teoría cuántica, y, más tarde, cuando Oppie se graduó, Born le dijo: «Tú te puedes ir de aquí, pero yo no; me has dejado muchísimo trabajo por hacer».

Oppie entonces fue a los sitios donde se hacían cosas verdaderamente importantes en física. A la Universidad de Leiden para estudiar con Paul Ehrenfest, a la Universidad de Utrecht para trabajar con Hendrik Kramers, y al Instituto Federal de Tecnología de Zurich (el *alma mater* de Einstein) para trabajar con Wolfgang Pauli. Cuando volvió a Estados Unidos, en 1929, Oppenheimer había publicado ya dieciséis artículos científicos, seis de ellos en alemán, y todos sobre el tema más candente de la física teórica: la teoría cuántica. Decidió difundir su nuevo conocimiento afincándose en California, que entonces quedaba bastante en la periferia. «Pensé», solía decir, «que sería buena cosa ir a Berkeley, porque era un desierto. Como allí no había física teórica, sería un buen sitio para empezar algo. También me pareció peligroso, porque me exponía a perder contacto, de modo que conservé mis relaciones con el Caltech». (Instituto Californiano de Tecnología).

Así pues Oppie aceptó un nombramiento doble, pasando un curso en la Universidad californiana de Berkeley y otro en el Instituto Californiano de Tecnología, en Pasadena. Algunos de sus alumnos le tenían tanto afecto que le seguían de un sitio a otro.

«La verdad», rememora Robert Serber, uno de estos alumnos, «es que nos parecía la cosa más natural del mundo renunciar a nuestras casas o apartamentos de Berkeley, porque estábamos convencidos de que encontraríamos un chalecito con jardín en Pasadena por veinticinco dólares al mes».

Fue en California donde Oppenheimer comenzó a influir con su magia en toda una generación de físicos. No era buen profesor, por lo menos al comienzo. Oppie era un hombre alto y delgado, rígido, fumaba constantemente y tendía a dar paseos por la clase, agitando sus brazos larguiruchos y a veces hablando con voz poco menos que inaudible. Vacilaba buscando las palabras, a veces lo único que le salía era una sarta de sonidos que sonaban como «nim, nim, nim», otras veces «hum, hum, hum», en las pausas entre frase y frase. Por ejemplo: «... y ésta es la función que tiene aquí la constante de Dirac..., nim, nim, nim... Pero la cuestión cambia si se tiene en cuenta..., hum, hum, hum...», y así sucesivamente.

Sus estudiantes no tardaron en imitar su estilo de hablar, hasta en el constante fumar, en el morderse las uñas y llevar camisa azul, e incluso en el repetir eso de «nim, nim, nim». Wolfgang Pauli dio en llamarle «el hombre nim, nim, nim», y en una ocasión en que un físico europeo afirmó en su presencia que en Estados Unidos no se hacía «verdadera física», Pauli le contestó: «Ah, ¿no?, pero ¿es que

no ha oído usted hablar de Oppenheimer y sus chicos nim, nim, nim?».

Oppenheimer y sus chicos nim, nim, nim trabajaron durante diez años en física de partículas, pero, de pronto, en el otoño de 1938, se pasaron a la astrofísica, sumiéndose en el estudio de la agonía de las estrellas. Oppie escribió tres ensayos muy seguidos, cada uno en colaboración con un estudiante graduado distinto; estos artículos auguraban un fin más violento a las estrellas más masivas. El último de los tres, escrito en 1939, contiene la predicción de que algunas estrellas colapsarán, convirtiéndose en agujeros negros.

La idea del agujero negro, un cuerpo celeste cuya gravedad es tan fuerte que ni siquiera la luz puede escapar de él, no fue original de Oppenheimer. Se remonta a Pierre Simón de Laplace, el astrónomo y matemático francés del siglo XVIII que, en su *Exposition du Système du Monde*, difundió el concepto de que el universo no es más que un gran mecanismo que lo abarca todo, un gran mecanismo de relojería enquistado en el cielo. El mundo, con todo cuanto contiene, dijo Laplace, está tan rígidamente controlado y es tan predecible que, si fuese posible conocer su estado con todo detalle en un momento determinado, se podría deducir su estado en cualquier otro momento del pasado o del futuro.

La gravedad afectaba a todos los cuerpos materiales y, según creían Newton y Laplace, como la luz se componía de diminutos corpúsculos de materia, también estaba sujeta a la fuerza de la gravedad. Si una estrella era lo bastante grande, razonaba Laplace, la luz estelar que emitiese sería retenida por su propia gravedad,

posiblemente hasta el extremo de hacer que la estrella fuese invisible para nosotros, en la tierra: «Una estrella luminosa de la misma densidad que la tierra y cuyo diámetro fuese doscientas cincuenta veces mayor que el del sol, no podría, por causa de su fuerza de gravedad, dejar que ninguno de sus rayos de luz llegase hasta nosotros; (de modo que) es posible que los cuerpos luminosos más grandes del universo sean invisibles por esta razón».

En el siglo XX las ideas de Laplace fueron confirmadas por el astrónomo alemán Karl Schwarzschild, que aplicó las ecuaciones generales de relatividad de Einstein a un caso hipotético en el que toda la masa de una estrella se concentrara en un solo punto sin dimensiones. Schwarzschild comprobó que, si la masa estuviera suficientemente condensada en ese punto, el espacio en torno a él se cerraría sobre sí mismo, de modo que la luz no podría escapar. La distancia a que ocurrirá este efecto de cierre variará en cada caso según la masa. Si la masa de la tierra se contrajese hasta ese punto, dicha distancia —que se conoce por el nombre de radio de Schwarzschild— sería aproximadamente de un centímetro, pero masas mayores harían sentir su efecto sobre volúmenes mayores de espacio.

Schwarzschild demostró cómo dentro del marco de la relatividad general podría existir algo semejante a los cuerpos invisibles de Laplace, pero el problema estaba en que los puntos sin dimensiones de Schwarzschild eran abstracciones matemáticas, no objetos tangibles. Fue Oppenheimer quien aplicó la relatividad general a fenómenos del mundo real, mostrando que el agujero negro era, de

hecho, una posibilidad física. Comenzó analizando el colapso de las estrellas.

Las estrellas mueren cuando se les agota el combustible de hidrógeno, y, a medida que se van enfriando, comienza y se desarrolla el proceso del colapso estelar. El final de cada estrella dependerá de su masa inicial. Si esa masa es menor que 1,4 veces la del sol, se contraerá hasta convertirse en un enano blanco, o sea, una estrella compuesta de materia superdensa, de más o menos un 1 por ciento del tamaño del sol. Las estrellas mayores sufren contracciones más espectaculares y violentas, y terminan siendo estrellas de neutrones y explotando para convertirse en supernovas, perdiendo en unos pocos momentos una cantidad de calor equivalente al total de la energía que habían irradiado a lo largo de los miles de millones de años de su vida. No queda de ellas más que un insignificante rescoldo de materia, un núcleo de neutrones. Como estaría compuesto de neutrones muy apretados,  $2,5 \text{ cm}^3$  de esa materia podrían pesar hasta diez mil millones de toneladas.

Durante algún tiempo los astrónomos creyeron que una estrella en colapso podría estabilizarse en su fase de núcleo de neutrones, sin seguir contrayéndose más, pero en un artículo de 1938, titulado: «On Massive Neutrón Cores», escrito en colaboración con el graduado de Berkeley George M. Volkoff, Oppenheimer calculó que, si el núcleo de neutrones fuese lo bastante grande (es decir, si su masa fuese mayor que un 0,7 de la del sol), una vez comenzado, sería inevitable que el colapso continuase (el primer artículo de Oppie, escrito a medias con Robert Serber, analizaba la relación



entre la masa de las estrellas y la posibilidad de que, como consecuencia de su colapso, se convirtieran en núcleos de neutrones).

Seis meses más tarde Oppie escribió un nuevo artículo: «On Continued Gravitational Attraction», esta vez en colaboración con Hartland Snyder. Los dos calcularon que el núcleo de la estrella continuaría contrayéndose, su gravedad se haría cada vez más fuerte e iría reduciendo la emisión de luz, hasta que, al final, se apagaría como una vela. Como dicen los autores del artículo: «La estrella tiende a cerrarse a cualquier comunicación con un observador lejano; lo único que persiste es el campo gravitatorio». Sus cálculos aportaron las mejores pruebas disponibles entonces de que los agujeros negros son reales.

Se había pensado nombrar profesor a Oppenheimer en el invierno de 1945, es decir, cinco meses antes de la explosión de la primera bomba atómica en el Solar Trinidad. Los profesores del Instituto sopesaron los méritos de Oppie en comparación con los de Wolfgang Pauli, a quien también tenían en cuenta. Pauli, por entonces, vivía ya en el Instituto, pero sólo como miembro interino. Albert Einstein y Hermann Weyl recibieron encargo de escribir un memorándum comparativo de los dos candidatos. Aunque sus colegas del Instituto no necesitaban realmente que se les convenciera de la superioridad general de la pura teoría sobre la tosca experimentación, el memorándum de Einstein y Weyl empezaba de la siguiente manera: «El Departamento de Matemáticas piensa unánimemente que la física teórica no sólo debiera seguir formando parte de sus

actividades científicas, sino que debiera ir en aumento. Toda la historia de la física, desde Galileo, es testimonio de la importancia de la función del físico teórico, en quien tienen su origen las ideas teóricas básicas. La construcción *a priori* es tan esencial en la física como los datos empíricos. Claro es que el teórico debe estar en contacto con los descubrimientos y los hallazgos de la física experimental, pero para ello basta con que haya laboratorios en la civilización de la que forma parte, y no hace falta en absoluto que él tenga que estar asociado con un laboratorio en el lugar donde trabaja».

Una vez aclarado esto, los autores del memorándum afirmaban que preferían sin duda a Wolfgang Pauli, cuyos logros científicos, decían, eran más importantes que los de Oppenheimer. «Es evidente que Oppenheimer no ha aportado a la física nada tan fundamental como el principio de exclusión y análisis del spin electrónico formulado por Pauli... El dominio del engranaje matemático que demuestra poseer Pauli es, y con toda probabilidad será siempre, mucho mayor».

Einstein y Weyl elogiaban a Oppenheimer «por su excelente trabajo administrativo» durante la guerra, y por haber «fundado la mayor escuela de física teórica de este país». Mencionaban también que sus intereses eran amplios, que solía rodearse de un brillante círculo social, y que sus estudiantes mostraban gran entusiasmo por él. «Es posible», advertían, «que sea un poco demasiado dominante, y que sus estudiantes tiendan a convertirse en pequeñas copias de Oppenheimer».

Así las cosas, en la primavera de 1945, el Departamento de Matemáticas del Instituto ofreció oficialmente un puesto de profesor permanente a Wolfgang Pauli. Pauli, por su parte, se mostró indeciso sobre si aceptarlo o no, y a la larga sólo siguió en el Instituto hasta 1946, año en que decidió volver a Zurich. Antes de su partida, el departamento decidió súbitamente recomendar que le fuese ofrecido a Oppenheimer el puesto de profesor de física teórica, y encargó a Einstein y a Von Neumann —ninguno de los cuales sentía gran interés por Oppenheimer— que preparasen un currículum para ser sometido a la consideración de la junta de administración del Instituto.

Oppie, por su parte, nunca tuvo prisa por entrar en el Instituto. Ya lo había visitado en 1935, y no le impresionó. «Princeton», escribió a su hermano Frank por aquel entonces, «es una casa de locos: sus solipsistas luminarias relucen en aislada e impotente desolación». Herman Weyl le ofreció un puesto en el Instituto con motivo de esa visita, pero Robert lo rechazó. «Yo no serviría absolutamente de nada en un sitio así», le dijo a su hermano, «pero no fue nada fácil convencer a Weyl de que aceptase mi negativa».

Ahora le tocaba al Instituto el turno de mostrarse reacio. Un año después del plazo recibido por Einstein y Von Neumann para preparar su currículum, el Departamento de Matemáticas aún no había hecho ninguna oferta formal a Oppenheimer. En su lugar, lo que decidieron fue tantear a Julian Schwinger, que había trabajado con Oppenheimer en la Universidad de Berkeley, pero Schwinger no mostró interés por entrar en el Instituto.

Entonces el departamento trató de llegar a un acuerdo sin precedentes con Richard Feynman. «No sé cómo, pero el hecho es que sabían lo que pienso del Instituto», diría Feynman más tarde, «por ejemplo: que es demasiado teórico, que no hay en él suficiente actividad, suficiente reto. Y por eso me escribieron en estos términos: “Ya sabemos que siente usted gran interés por los experimentos y por la enseñanza, de modo que hemos hecho un esfuerzo especial a fin de crear para usted una clase distinta de puesto de profesor, si lo desea: la mitad de su dedicación como profesor de la Universidad de Princeton y la otra mitad en el Instituto”».

Pero esto, a ojos de Richard Feynman, era inverosímil. Era un honor, naturalmente, pero era demasiado, él no iba a poder estar a la altura de una cosa así. «Es absurdo», se dijo, «me reí pensando en ello mientras me afeitaba». De modo que, como Oppenheimer y Pauli y Schwinger antes que él, Richard Feynman dijo que no a esta oferta de un puesto en el Instituto de Estudios Avanzados.

Mientras tanto, Oppenheimer había dimitido como director del laboratorio de Los Álamos, y ahora estaba empezando a preguntarse a qué se iba a dedicar. Lo natural parecía volver a la enseñanza, y Oppie recibió bastantes ofertas de las principales universidades e institutos de investigación, entre los que estaban, de nuevo, la Universidad de Berkeley y el Instituto Californiano de Tecnología, pero también las Universidades de Columbia y Harvard. Finalmente Oppie volvió a sus antiguas plazas californianas. Pero las cosas no eran ya como antes. «Después del gran cambio producido por la

guerra, la enseñanza había perdido su encanto», recordaría Oppie más tarde; «enseñé en Berkeley y en Caltech, pero siempre estaba yendo a otros sitios, distraído, pensando en otras cosas, y la verdad es que creo que después de la guerra ya nunca más di bien mis clases».

Lo cual, naturalmente, no tiene por qué sorprendernos. La simple enseñanza había resultado un anticlímax, un bajón, en comparación con la dirección del laboratorio de Los Álamos. En Los Álamos, Oppie se codeaba a diario con los nombres más grandes de la física, y tenía en sus manos un *poder* increíble. Cuando veía toda esa energía —que era creación suya—, cuando la veía relucir como el sol y enviar millones de toneladas de roca y escombros a lo alto del cielo nocturno..., bueno, resultaba mucho más interesante que la enseñanza.

Pero si no era posible volver a Los Álamos, lo segundo mejor podría ser hacerse cargo de algún otro importante instituto de investigación, de otro lugar cuyo único objeto, cuya única justificación fuese congregarse a las mentes más brillantes de la época —a las *primas donnas*— y ponerlas en situación de descubrir los secretos del universo. Aun cuando el Instituto de Estudios Avanzados podría no ser demasiado atractivo como sitio en el que enseñar en calidad de profesor, como *director* sería otra cosa. Dirigir el Instituto sería, por lo menos, un pálido reflejo de su actividad en Los Álamos. Fue, por consiguiente, una suerte que el Instituto estuviera buscando por entonces un nuevo director, y muy práctico

que el nombre de Robert Oppenheimer estuviese precisamente el primero en la lista de los candidatos.

En cierto modo, el nombramiento de Oppie tenía perfecto sentido desde el punto de vista del Instituto, que estaba sobrecargado de matemáticos y lo que necesitaba era unos cuantos buenos físicos que equilibrasen las cosas y diesen nueva vida a todo el mundo. ¿Y quién mejor para esta tarea que el gran taumaturgo de Los Álamos? Parecía tutearse con los principales físicos del mundo. Era un hombre de brillante intelecto, legendario como administrador. Conseguía de la gente cosas que estaban por encima de su capacidad, y además Oppenheimer no era *solamente* físico, sino también maestro del idioma, conocía la poesía, la literatura, la filosofía, todas esas cosas que formaban el acervo del Instituto, todas las cosas que el Instituto consideraba sagradas. Era lo más parecido a un genio universal que cabía esperar en estos tiempos. Así es como explicó la situación más adelante uno de los veteranos del Instituto: «Diablos, después de todo, esto es una meca de intelectuales, y todos los días leíamos en el *New York Times* que Oppenheimer era el mayor intelectual del mundo. Es evidente que queríamos contar con él... entonces».

Total, que le ofrecieron el puesto. En el otoño de 1945, uno de los administradores, Lewis Strauss, fue a California a visitar el Laboratorio de Radiación de Berkeley y en el aeropuerto le recibieron Oppenheimer y Ernest O. Lawrence, que era el jefe del laboratorio. Strauss llevó a Oppie aparte, a la rampa de cemento, delante de los hangares, y le ofreció la dirección del Instituto de

Estudios Avanzados, con un sueldo de veinte mil dólares más jubilación a los sesenta y cinco años con doce mil de pensión. Además viviría como director en Olsen Manor, la mansión de dieciocho habitaciones situada en el terreno del Instituto, sin pagar alquiler, con servicio y todo lo demás por cuenta del Instituto. Oppenheimer dijo que necesitaba tiempo para pensarlo, pero al menos estaba interesado.

Oppie se tomó su tiempo, desde luego, porque la primavera siguiente todavía no había respondido. Le gustaba California, sobre todo Berkeley, y no estaba completamente seguro de que el paraíso de sabios de Princeton fuera tan bueno como decían. «Me parecía dudoso», comentó algo más tarde, «que el Instituto fuese un sitio importante, y que mi presencia en él resultase beneficiosa».

Pero una noche de abril, yendo en coche con su mujer, Kitty, por el puente que va de San Francisco a Oakland, oyeron por la radio que J. Robert Oppenheimer había aceptado el puesto de director del prestigioso Instituto de Estudios Avanzados. «Bueno», dijo Oppie, «pues si la radio lo dice, será verdad».

Cuando llegó al Instituto, en el otoño de 1946, estaba claro desde el principio que Oppenheimer iba a ser muy distinto de sus predecesores. En las paredes de las amplias oficinas del primer piso que ocupaba el director, en un extremo de Fuld Hall, Frank Aydelotte había hecho colgar una colección de grabados de escenas de la vida de Oxford. Aydelotte había sido profesor de inglés, graduado en literatura en Oxford en 1908. Pero esos nostálgicos grabados académicos no eran del gusto de Oppie, que los mandó

descolgar y puso en su lugar una pizarra tan larga como la pared misma. Esa pizarra estaba casi siempre llena de ecuaciones.

Y luego estaba la cuestión de la caja fuerte de la oficina. Se usaba para guardar documentos legales y confidenciales, pero Oppie llevó consigo al Instituto un legajo de papeles muy secretos que databan de sus días de jefe del laboratorio de Los Álamos, y consideró que para esos papeles no bastaba con una simple caja fuerte. De modo que no hubo más remedio que poner un vigilante armado que montase guardia en el pasillo noche y día, las veinticuatro horas del día, en defensa de los secretos atómicos. La gente temía que Oppie instalase laboratorios en el Instituto, pero no llegó a tanto; lo que sí hizo fue llevar armas de fuego.

La verdad es que llevó algo peor que armas de fuego. En junio de 1951, un comité de técnicos en bombas se reunió en el Instituto para debatir planes para la «super», la bomba termonuclear o de hidrógeno. Asistieron Edward Teller, y también Hans Bethe, Norris Bradbury, que era el nuevo jefe del laboratorio de Los Álamos, Enrico Fermi, John Wheeler, y, naturalmente, el técnico en bombas del Instituto, John von Neumann («uno de los mejores técnicos en armas del mundo entero», en opinión de Gordon Dean, presidente del Comité de Energía Atómica, que también estaba presente). En un principio Oppenheimer se había opuesto al desarrollo de la bomba de hidrógeno, pero ahora, escuchando las nuevas ideas de Teller y de Stan Ulam, cambió de opinión:

«Cuando se ve algo que es técnicamente agradable, lo que hay que hacer es ahondar en ello y llevarlo a la práctica», explicó, «después,



de conseguir el éxito técnico, ya habrá tiempo de pensar lo que se puede hacer con el resultado».

Al principio, una de las cosas que atrajeron a Oppie del Instituto fue que estaba situado a escasas horas de Washington, donde para entonces él ya había adquirido un halo de sabiduría y autoridad de proporciones bastante metafísicas. Jefes de gobierno querían saber lo que había que hacer con la nueva bomba, cómo utilizar este nuevo instrumento que la ciencia les brindaba, y ahí estaba Oppenheimer, que..., bueno, que era la bomba. ¿Quién podía saber mejor que él cómo usarla? Oppenheimer se convirtió en administrador y asesor. Fue elegido presidente del GAC —el Comité Asesor General de la Comisión de Energía Nuclear—; era miembro de la Junta de Investigación y Desarrollo del Departamento de Defensa; trabajaba para el Comité Asesor de Ciencia de la Fuerza Aérea del Departamento de Movilización para la Defensa. Oppie iba y venía por Estados Unidos y el extranjero, daba conferencias, asistía a reuniones, presidía debates. Se convirtió en el gran preboste de la energía atómica, y la verdad era que le encantaba.

Ciertos miembros del Instituto estaban preocupados porque Oppie era un «director absentista», pero lo cierto era que no abandonaba en absoluto su puesto. Lo que ocurría era que la dirección del Instituto no requería todo su tiempo, en absoluto. Cuando dejó el laboratorio de Los Álamos tenía a seis mil personas a sus órdenes, y ahora era amo y señor de poco más de un centenar, cada uno de los cuales tenía su propio proyecto particular. No necesitaban, por tanto, ser «dirigidos», ni necesitaban guía, como los científicos

atómicos. Desde el principio Oppie había insistido en que él sería administrador solamente la mitad del tiempo; el resto lo pasaría dedicado a la física. Esto constaba en su carta de nombramiento. «Por voto de los administradores», decía la carta, «ha sido usted nombrado también profesor de física, puesto que desempeñará simultáneamente con su servicio como director, y este nombramiento está de acuerdo con su deseo de seguir adelante en el campo de trabajo de su elección».

Ésta era la primera vez que el Instituto hacía una cosa así, pero funcionó bastante bien. Oppenheimer dejó desde el principio su huella en el Instituto como ningún otro director antes o después de él. Hizo hincapié en la física, por supuesto, pero también en la juventud, con gran contento de algunos veteranos que temían que el Instituto acabase convirtiéndose en un asilo para ancianos. Einstein, por citar un caso, decía que contratar a viejos «podía convertir al Instituto en una institución». Oppie llevó allí a un grupo de jóvenes físicos: Abraham Pais, Freeman Dyson, T. D. Lee y C. N. Yang, entre otros. Algunos de estos nombramientos fueron casi mágicos. Unos pocos años después de su llegada, Yang y Lee ganaron el premio Nobel de Física. Habían vuelto del revés una de las «leyes» de la naturaleza: la ley de la conservación de la paridad.

Chen Ning Yang y Tsung-Dao Lee no habían pasado aún de la mitad de su segunda década cuando entraron en el Instituto de Estudios Avanzados. Habían nacido en China y asistido a la misma universidad, en Kunming, la Southwest Associated University, que era entonces una colección de chabolas con tejado de latón donde

estaban las clases y de cabañas con tejado de barda donde estaban los dormitorios. Las ventanas de las clases se hacían añicos con frecuencia a causa de los bombardeos, porque en aquel entonces había una guerra en marcha, y el hecho mismo de que la gente pudiese estudiar allí —y hasta llegar a ganar premios Nobel— era una prueba más del poder de la mente sobre la materia.

Yang y Lee llegaron a los Estados Unidos con becas para la Universidad de Chicago, donde Lee tendría que escribir una disertación doctoral sobre las enanas blancas estelares bajo la égida de Enrico Fermi, mientras Yang trabajaría en física nuclear bajo la de Edward Teller. Fue en Chicago donde Yang y Lee comenzaron a colaborar, produciendo una serie de treinta y dos artículos sobre física. Los dos volvieron a juntarse en el Instituto entre 1951 y 1953; luego Lee aceptó un puesto en la Universidad de Columbia, Nueva York, mientras Yang seguía en Princeton. Pero sólo estaban a ochenta kilómetros el uno del otro, y se reunían una vez a la semana para hablar de problemas relacionados con la física.

En esta fase del desarrollo de la física de partículas elementales ya se conocían alrededor de veinte partículas, entre las que estaban los electrones, protones, neutrones, neutrinos, positrones, misteriosas «partículas-V» (conocidas más tarde por el nombre de «partículas extrañas»), y toda una familia de entidades conocidas con el nombre de mesones, cuyos miembros parecían proliferar como conejos. Las cosas llegaron a tal extremo que cierto texto de física contenía un capítulo titulado: «Partículas de las que podríamos prescindir». Por lo que se refiere a comprender el por qué y el por qué no de todas

estas entidades subatómicas que tan rápidamente se multiplicaban, cabe decir que los físicos no tenían la menor idea. En un artículo publicado en 1953 en el *Scientific American*, Freeman Dyson ofrecía un cuadro realmente sombrío de la cuestión: «Nadie ha conseguido clasificar las partículas conocidas, o predecir las propiedades de las desconocidas. Nadie comprende por qué existen tales o cuales partículas, por qué tienen determinada masa, según se ha observado, o por qué algunas de ellas participan de la interacción fuerte y otras no».

Pero, a medida que iban descubriendo partículas nuevas, los físicos corrían a asegurarse de que se regían por las «viejas» leyes —como la de la conservación de la energía—, y también por las exóticas leyes «nuevas» con que estaban encontrándose entonces: leyes como la de conservación de la conjugación de carga y la del número bariónico. Estos principios de conservación están relacionados con lo que ocurre en las interacciones de las partículas, como, por ejemplo, cuando una entidad determinada se desintegra en otras. Unas pocas partículas, como pongamos por caso, protones, electrones y neutrinos, no se desintegran, o dicho de otra forma: son «estables». La mayor parte de las demás se desintegran, o son inestables, y la vida de algunas de ellas es sumamente corta, con frecuencia de una duración de sólo milésimas de millón de segundo. En el transcurso de estas interacciones cambian ciertas características del sistema, mientras otras siguen siendo las mismas. De las que no cambian se dice que están «conservadas», y una de las fundamentales es la carga eléctrica. En cada

desintegración de una partícula el total neto de carga del sistema es el mismo tanto antes como después de la interacción. Un neutrón, por ejemplo, que es eléctricamente neutro, se desintegra convirtiéndose en un protón y un electrón, cuyas cargas opuestas se anulan mutuamente, dejando al final de la reacción la misma carga eléctrica que había al principio.

En 1956, Yang y Lee estaban investigando el caso del mesón-k (o kaón), también llamado mesón pesado. Los mesones habían sido descubiertos en 1938 por Seth Neddermeyer y Cari Anderson, dos colegas de Oppenheimer en el Caltech. El mesón-k es inestable y se transforma, al desintegrarse, en otro tipo de mesón, llamado pión (o mesón pi) en cosa de un microsegundo. Pero se observó que algunos mesones-k decaían en forma de dos piones, otros en tres. Esto, por sí solo, no era demasiado inquietante, porque se sabía, sobre la base de la teoría y también experimentalmente, que la misma partícula podía tener dos maneras distintas de desintegrarse. Lo inquietante de la desintegración del kaón era que la paridad de los dos grupos de productos resultantes de ella eran distintos. Y eso no debería pasar, la paridad debería conservarse, de la misma manera que la carga eléctrica o cualquier otra cosa.

La paridad es la propiedad general de la simetría por reflexión, la propiedad por la cual un objeto y su imagen en el espejo obedecen a las mismas leyes y son funcionalmente equivalentes en todos los sentidos. Por ejemplo, si uno se sitúa delante de un espejo y se va pasando una pelota de una mano a otra, la paridad significa que la pelota del espejo responderá exactamente igual que la real:

describiendo en ambos casos un arco parabólico. Como lo explicó Frank Yang en su discurso de aceptación del premio Nobel (se cambió el nombre por el de Frank en honor de Benjamín Franklin, de quien era gran admirador): «Las leyes de la física siempre han mostrado una simetría completa entre la izquierda y la derecha».

Se pensaba que la paridad existiría al nivel de la partícula elemental de la misma manera que existe en la naturaleza macroscópica, aunque su manera de manifestarse al nivel del microscopio fuera algo distinta. En el caso de las partículas la paridad se designaba por medio de los signos aritméticos + y -, correspondientes a lo que ocurre cuando se cambian de signo las variables espaciales pertenecientes a la función de onda de la partícula. Si la función de onda no cambia, se dice que la partícula tiene *paridad par* (designada por un signo +); si la función de onda cambia, cuando se revierte su orientación espacial, se dice que tiene *paridad impar* (designada con un signo -).

Lo que ocurría con los mesones-k era que a veces se desintegran dando lugar a partículas de paridad par, y en otras ocasiones de paridad impar. Esto era desconcertante, porque no había ninguna diferencia entre los mesones originarios: tenían prácticamente la misma masa, la misma carga eléctrica, todo igual. Para los físicos de entonces esto era incomprensible: la ley de la conservación de la paridad exigía que partículas idénticas tuviesen desintegraciones idénticas.

Para explicar esta extraña conducta, los físicos sólo tenían unas pocas alternativas disponibles. Una consistía en decir que lo que

estaban observando en realidad era la conducta de dos mesones- $k$  distintos, y, en consecuencia, procedieron a darles nombres distintos: *tau* y *theta*, respectivamente. Lo malo de esta idea, sin embargo, era que nadie conseguía encontrar diferencias intrínsecas entre las dos partículas. Era una distinción sin su diferencia correspondiente.

La otra alternativa era decir que la conservación de la paridad, por lo menos en este caso concreto, no era, después de todo, una realidad natural. Lo malo de esta sugerencia era que negar la conservación de la paridad en un caso concreto equivalía a decir que la «ley» de conservación de la paridad no era realmente una ley. O sea, negar una de las leyes de la naturaleza aceptadas hasta entonces era algo que ningún físico acepta así como así. Pero eso es exactamente lo que decidieron hacer Yang y Lee.

Publicaron un artículo titulado «Question of Parity Conservation in Weak Interactions», en la *Physical Review* (en un principio Yang y Lee habían titulado el artículo: «Is Parity Conserved in Weak Interactions?», pero el director de la revista, Samuel Goudsmit, no permitía signos de interrogación en los títulos). En su artículo, Yang y Lee resumían así las razones que les habían conducido a poner en duda la idea misma de la conservación de la paridad: «Ciertos datos experimentales», decían, «indican la existencia de masas y vidas medias íntimamente idénticas en los mesones *theta* y *tau*. Por otra parte, el análisis de los productos de la desintegración de *tau* sugiere insistentemente, sobre la base de la conservación del momento angular y la paridad, que la *theta* y la *tau* son la misma

partícula. Esto plantea una situación bastante desconcertante... Una solución a esta dificultad consiste en dar por supuesto que la paridad no se conserva de manera estricta, de modo que la  $\theta$  y la  $\tau$  son dos modos distintos de desintegración coexistentes en la misma partícula...». Para comprobar si en la realidad se conservaba la paridad, Yang y Lee sugirieron que se podía llevar a cabo un experimento «tendente a determinar si las interacciones débiles establecen una diferencia entre la derecha y la izquierda». La señora Chien-Shiung Wu leyó este artículo en la Universidad de Columbia y decidió hacer el experimento.

La idea consistía en ver si la radiación de electrones tendría lugar simétricamente en todas las direcciones. Si la paridad valía para interacciones débiles —las interacciones que tienen lugar en la desintegración de partículas y en la radiación—, esto quería decir que los electrones deberían ser emitidos a partir de una sustancia radiactiva de manera igual en todas las direcciones; si no se conservaba la paridad, se emitirían más electrones en una dirección que en otra. Sería como si la naturaleza, por alguna razón, tuviera cierta especie de preferencia direccional, pero esto no parecía probable.

El problema básico era cómo situar los núcleos atómicos de manera que, en primer lugar, apuntasen todos en la misma dirección. Wu hizo esto cogiendo un pedazo de material que contenía cobalto —concretamente, el isótopo  $^{60}\text{Co}$ —, y enfriándolo hasta unas décimas de grado del cero absoluto ( $-273^\circ\text{C}$ ). Cuando la sustancia estuvo a esa baja temperatura, Wu aplicó a la muestra un fuerte campo



magnético, lo que tuvo por efecto alinear todos los núcleos de cobalto en la misma dirección, y, una vez, todos ellos apuntasen en el mismo sentido, los núcleos deberían emitir electrones en igual medida en cualquiera de las direcciones mientras rigiese la paridad. Ahora bien, si la interacción subyacente no conservaba la paridad, saldrían más electrones en una dirección que en otra.

Cuando llegó el momento de la verdad, resultó que el cobalto emitía radiación de manera preferencial. La naturaleza, por razones todavía desconocidas, era como una mano invisible que dirigía electrones a donde quería que fuesen. El resultado saltaba a la vista: Yang y Lee tenían razón. La paridad se había venido abajo. Por haber demostrado la falta de consistencia de la paridad en tanto que ley de la naturaleza, Yang y Lee recibieron conjuntamente el premio Nobel de física del año 1957.

Cuando recibieron el premio, Yang era profesor del Instituto desde hacía dos años, mientras Lee no era más que miembro invitado. Más adelante Lee ingresó también como profesor, y hubo una temporada en que ambos nobeles estuvieron felizmente juntos en el Instituto. Oppenheimer solía decir que se sentía orgulloso al ver a Yang y a Lee pasear juntos por los jardines del Instituto, porque era una colaboración que parecía funcionar bien.

Pero la verdad era que el Instituto siempre había tenido bastante mala reputación en tanto que sitio donde la gente podía cooperar fructíferamente. Según Murray Gell-Mann: «No se puede decir que haya una buena y bien desarrollada tradición de cooperación en el Instituto de Estudios Avanzados. La idea originaria era crear un

ambiente para pensadores, en el que grandes figuras pudieran retirarse individualmente a pensar. Este sistema es relativamente estéril en nuestro tiempo. Quiero decir que pudo irle bien a una persona como Einstein, que, de todas formas, no sintonizaba con la física de su tiempo ni necesitaba de nadie con quien hablar porque a nadie le interesaba lo que estaba estudiando y tampoco él sentía interés por lo que estudiaban los demás, pero para los otros yo diría que lo que da resultado es la cooperación».

Esta falta de espíritu cooperativo del Instituto es imputable a lo que pudiéramos llamar «el factor *prima donna*», la actitud mental que consiste en ponerse cada uno por encima de todos los demás y que a veces afecta a los grandes cerebros, con frecuencia de manera inconsciente. Cuando Frank Yang iba a cumplir sesenta años, un grupo de amigos suyos pensaron compilar un *liber amicorum* en honor de su obra como físico. Se lo propusieron, y Yang respondió: «Lo he estado pensando, y he llegado a la conclusión de que sería más interesante publicar una selección de artículos míos con comentarios».

En vista de ello, el editor W. H. Freeman publicó los *Selected Papers 1945-1980 with Commentary*, de Yang. T. D. Lee leyó en la Universidad de Columbia la versión que daba Yang de su famosa alianza y se puso pálido, porque no era en absoluto como él la recordaba. Poco después Lee escribió su propia versión de lo sucedido y la hizo circular entre sus amigos en edición privada; luego la publicó en el tomo tercero de *T. D. Lee: Selected Papers*, editorial Birkhäuser, 1986. Si la experiencia de los dos premios

Nobel es típica de lo que ocurre cuando dos tremendos egos unen sus talentos en un trabajo conjunto, resulta fácil explicarse por qué no hay más cooperación en el Instituto.

He aquí lo que dice Yang sobre su relación con Lee en la Universidad de Chicago: «Como yo era mayor que él y tenía varios años de ventaja en mis estudios, traté de ayudarle de cuantas maneras me fue posible. Luego pasó a ser estudiante doctorado bajo la dirección de Fermi, pero seguía recurriendo a mí en busca de guía y consejo, y yo fui en realidad su profesor de física durante esos años de Chicago... Fui para él como un hermano mayor... Hice cuanto pude por ayudarle en su carrera...». Y así sucesivamente.

En 1952, los dos físicos, que entonces eran miembros interinos del Instituto, escribieron un largo artículo en dos partes sobre transiciones de fase de gas líquido. Sus egos, al parecer, estaban empezando a florecer, porque de pronto se volvió sumamente importante decidir cuál de los dos nombres aparecería el primero bajo el título del artículo. Lo que cuenta Lee es que Yang quería poner los nombres de los autores en el siguiente orden: «C. N. Yang y T. D. Lee». Como Lee tenía cuatro años menos que Yang, accedió al principio, pero luego observó que en otros artículos de física escritos conjuntamente por dos o más autores la edad no dictaba siempre el orden de los nombres, de modo que insistió en que se pusiera «T. D. Lee y C. N. Yang».

Menos mal que habían escrito el artículo en dos partes, de este modo al final acabaron saliéndose ambos con la suya; pusieron «C. N. Yang y T. D. Lee» en la primera parte, y «T. D. Lee y C. N. Yang»

en la segunda. Ambas partes se publicaron en el mismo número de la *Physical Review*, la una junto a la otra.

En el Instituto, Albert Einstein leyó el artículo y decidió que quería hablar con los autores. Según Yang, Einstein mandó llamarle a él: «Einstein mandó a Bruria Kaufman, que era entonces su ayudante, a pedirme que fuera a verle. Fui con ella a su despacho y me expresó el gran interés que sentía por mi artículo... Desgraciadamente no saqué mucho partido de esta conversación, la más larga que he tenido con Einstein, por lo difícil que me resultaba entenderle. Hablaba muy bajo, y yo encontraba difícil concentrar mi atención en sus palabras, abrumado como me sentía por la cercanía de un gran físico a quien llevaba tantos años admirando».

Según Lee, Einstein mandó llamar a los dos: «Einstein dijo a su ayudante, Bruria Kaufman, que fuese a hablar con Yang y conmigo (...) Fuimos los dos al despacho de Einstein (...) Nuestras respuestas le gustaron (...) La conversación fue bastante amplia, y duró largo rato».

Yang y Lee no volvieron a colaborar durante algún tiempo, hasta 1956, cuando describieron sus descubrimientos sobre la no conservación de la paridad. La versión de Yang es que el artículo lo escribió él: «Mostré el manuscrito a Lee, que hizo unas cuantas modificaciones de menor importancia. Luego puse los nombres de los dos por orden alfabético. Pensé por un instante en poner mi nombre primero, pero decidí que no, en primer lugar, porque me fastidiaba eso de poner mi nombre delante, y, en segundo lugar, porque quería ayudar a Lee». Versión de Lee: «Recuerdo que la

redacción del artículo fue obra de ambos; más aún, como siempre que colaborábamos, discutimos casi constantemente tanto las palabras como los matices de nuestra obra. Hicimos varias versiones del artículo, revisándolas durante cierto tiempo».

También en Suecia fue un problema el ego de Yang. «Yo estaba en Princeton cuando llegó la noticia del premio Nobel de física de 1957», dice Lee. «Durante el mes de noviembre, mi mujer, Jeanette, y yo, nos preparamos para el viaje a Suecia. Yang y yo teníamos también que escribir nuestras conferencias y discursos. En el transcurso de nuestras discusiones sobre lo que había que hacer, Yang me preguntó si la aceptación del premio durante la ceremonia podría ser por orden de edades. La pregunta me sorprendió, pero le dije que sí».

Cinco años más tarde, en 1962, apareció en la revista *New Yorker* un perfil de Yang y Lee, que ya eran profesores titulares del Instituto. Los dos físicos recibieron las pruebas del artículo antes de su publicación, e hicieron las correcciones oportunas, pero Lee dice que Yang entonces insistía en que su nombre saliera el primero en tres lugares del artículo: en el principio, en la parte del texto donde se anunciaba el premio Nobel, y en la descripción de la ceremonia de entrega del premio. Yang quería también que el nombre de su mujer apareciera en el texto antes que el de Lee, alegando que su mujer tenía un año más de edad. «Yo», comenta Lee, «le dije que eso era una tontería».

El 18 de abril de 1962, según recuerda Lee, Yang fue a verle a su despacho del Instituto y le pidió más cambios en la posición de los

nombres en el artículo del *New Yorker*. Lee, desconcertado y sorprendido, se preguntó en voz alta si su colaboración podía continuar en tales circunstancias, y Yang, entonces, «se excitó mucho y rompió a llorar», según afirma Lee, «diciendo que tenía mucho interés en poder seguir trabajando conmigo. Yo me sentí violento e impotente, y me puse a hablarle con suavidad, hasta que, al cabo de un rato, los dos llegamos a la conclusión de que sería mejor suspender nuestra colaboración, al menos por un período limitado de tiempo, y luego tomaríamos una decisión definitiva». Según la versión de Yang, «fue una experiencia que me dejó emocionalmente agotado, pero con una sensación catártica de liberación».

Un mes después, cuando se publicó el artículo del *New Yorker*, el nombre de Lee aparecía el primero en el título: «A Question of Parity: T. D. Lee and C. N. Yang», mientras el de Yang era el primero en la mención inicial de la concesión del premio Nobel. Aparte de estos dos casos, los nombres aparecían en el resto del texto de manera más o menos aleatoria.

Esa primavera Lee se fue del Instituto para ocupar un puesto en la Universidad de Columbia, en Nueva York. Según un rumor, Oppenheimer fue a Columbia para ver si podía convencer personalmente a Lee de que volviese al Instituto, pero no lo consiguió. En 1966 Yang se fue también del Instituto para entrar en la Universidad estatal de Nueva York, en Stony Brook.

Veinte años más tarde, en noviembre de 1986, T. D. Lee celebró su sexagésimo cumpleaños con una gran fiesta en la Universidad de

Columbia. Acudieron a la fiesta gran número de físicos importantes, como I. I. Rabi, Sidney Drell, Bruno Zumino y Freeman Dyson, pero Yang, no se sabe por qué, no estaba entre los asistentes.

Aunque dedicaba a la física una parte de su tiempo, Oppenheimer no produjo mucha obra científica durante el tiempo que pasó en el Instituto. Se han dado muchas explicaciones para ello. Oppie estaba agotado; había pasado de la edad en la que se supone que un científico realiza sus más grandes obras; estaba demasiado metido en política en Washington; o bien las tres cosas juntas. Todo el mundo parece estar también de acuerdo en que Oppie no dio de sí como científico todo lo que habría podido dar, por muy bien que hubiese quedado en Los Álamos como administrador. También sobre esto abundaban las explicaciones.

En opinión de I. I. Rabi, «bajo algunos puntos de vista, Oppenheimer estaba demasiado cultivado en terrenos ajenos a la tradición científica; por ejemplo, la religión, y sobre todo la religión hindú. La consecuencia de esto fue que tenía un sentido del misterio del universo que le envolvía como una niebla... Algunos llamarán a esto una necesidad de fe, pero a mi modo de ver se trata más bien de un distanciamiento de los métodos duros y toscos de la física teórica y un acercamiento a cierto mundo místico de amplia intuición».

Otros indican que Oppie no tenía paciencia para los detalles. «Desde el punto de vista de la física era muy bueno, pero aritméticamente dejaba mucho que desear», afirma Robert Serber. Otros, como Murray Gell-Mann, insisten en su falta de tesón. «No tenía

*Sitzfleisch*», dice éste, «o sea, perseverancia, lo que los alemanes llaman “carne de silla”, o sea, el arte de pasarse horas sentado en una silla. Que yo sepa, nunca escribió un artículo largo o hizo un cálculo largo. En fin, no tenía paciencia para esas cosas; su propia obra consiste en pequeños *aperçus*, algunos, por cierto, bastante brillantes. Pero sabía inspirar a la gente a hacer cosas, y su influencia era fantástica. Enseñó la física moderna a una o dos generaciones de teóricos norteamericanos, y también mecánica cuántica y teoría de campos».

Hay gente que se ha quejado de que Oppie era rápido, pero no original, de que sabía captar y rematar los pensamientos *ajenos*, pero que esos pensamientos, a pesar de todo, seguían siendo ajenos, y no suyos. Y también hay quien recuerda la ambigüedad de que a veces hacía gala, su capacidad para hablar de forma que no se supiese con claridad de qué lado estaba. Una de sus frases más famosas fue sobre la bomba: «En cierto sentido duro y crudo, que ninguna vulgaridad o broma o exageración puede borrar por completo, los físicos han conocido el pecado; y éste es un conocimiento que nunca podrán perder». (Este «golpearse públicamente en el pecho» irritó a muchos de sus colegas, entre otros a su antiguo profesor de Harvard, Percy Bridgman. «Si hay alguien que debiera sentirse culpable», dijo Bridgman, «ése es Dios, que puso los datos a nuestro alcance»). Y en un encuentro que tuvo con el presidente Truman después de la guerra, Oppie confesó: «Señor presidente, me siento como si tuviera las manos manchadas de sangre». (Parece ser que Truman, al oír esto, se sacó un pañuelo



del bolsillo diciendo: «¿Por qué no se las limpia?»). Pero hacia el final de su vida Oppenheimer mostraba una actitud distinta: «Lo que nunca he hecho», decía, «es expresar arrepentimiento por lo que hice y lo que pude hacer en Los Álamos. Más aún, en diversas y repetidas ocasiones he reafirmado mi idea de que, a pesar de sus muchas contradicciones, todo eso es algo de lo que no me arrepiento».

Fue la rapidez mental de Oppenheimer, junto con su certero talento para tomarse libertades selectivas con la verdad, lo que le condujo a su caída, que fue muy aireada. Dos semanas antes de Navidad, el 14 de diciembre de 1953, Oppenheimer habló por teléfono con Lewis Strauss, el hombre que seis años antes le había ofrecido la dirección del Instituto. Strauss era ahora presidente de la Comisión de Energía Atómica, y Oppenheimer asesor de esa misma comisión. Strauss quería hablar con Oppie sobre su autorización de seguridad, y Oppenheimer fue a Washington a ver a Strauss. Lo que Strauss iba a decirle le dejó completamente desconcertado.

El caso era que el presidente en persona, Dwight D. Eisenhower, había levantado un «tabique infranqueable» entre Oppenheimer y la información atómica clasificada como secreta. Todos los documentos clasificados que quedasen en la caja fuerte que tenía Oppenheimer en el Instituto le serían retirados, y la autorización de seguridad de Oppie quedaba anulada desde aquel mismo momento. La razón era que, en palabras de William L. Borden, que había sido funcionario del Comité Conjunto del Congreso sobre Energía

Atómica, «es más que probable que J. Robert Oppenheimer sea un agente de la Unión Soviética».

La clave del asunto estaba, naturalmente, en las relaciones comunistas de Oppie: su hermano Frank era comunista, y también la mujer de éste. Y, puestos a decir nombres, lo mismo la mujer del propio Oppie, quien por su parte era o había sido comunista años atrás. Oppie incluso había dado trabajo a comunistas, a muchos físicos de izquierdas en Los Álamos. Y luego había que tener en cuenta el asunto de las verdades a medias dichas por Oppie a los funcionarios de seguridad de Los Álamos hacía mucho tiempo. Pero lo más extraño de todo era que el gobierno sabía todo esto desde *antes* de Los Álamos, y, sin embargo... *le habían dado luz verde*, le habían dejado fabricar la bomba atómica, de modo que ¿a qué venía sacar a relucir todo esto ahora, diez años después?

La explicación convencional es que Oppie había puesto en dificultades a su colega y amigo de otro tiempo Lewis Strauss, y que éste, para ajustarle las cuentas, se había propuesto conseguir que Oppie cayese en la mayor desgracia.

El 13 de junio de 1949, Oppenheimer prestó testimonio ante el Comité Conjunto del Congreso sobre Energía Atómica, que estaba entonces examinando la solicitud del gobierno noruego de recibir un milicurie de hierro 59. Los noruegos querían utilizar el isótopo para observar la conducta del acero fundido en el proceso de fusión. En general, Strauss, anticomunista acérrimo, se mostraba reacio a exportar materiales radiactivos, de la clase que fuesen, pero cuando comprobó que uno de los miembros del equipo noruego de

investigación tenía tendencias comunistas, bueno, entonces..., ni hablar. Nada de isótopos para los noruegos en la medida en que dependiese de Strauss.

Con Strauss en la habitación del comité, Oppenheimer prestó testimonio a favor de enviar los isótopos. Se le preguntó si podían ser utilizados para objetivos militares.

—Nadie puede decir que no se pueden usar esos isótopos para la energía atómica —dijo Oppie—. Para la energía atómica se puede utilizar incluso una pala, y se utiliza.

Hubo algunas risitas en la habitación, y los dientes de Strauss comenzaron a rechinar.

—Para la energía atómica se puede usar una botella de cerveza, y se usa.

De nuevo se oyeron risitas, pero Oppie prosiguió:

—Pero para que nos hagamos una idea más clara, el hecho es que, durante la guerra, y después de ella, esos materiales no han jugado ningún papel importante, que yo sepa; lo que se dice ninguno.

Strauss estaba poniéndose más y más rojo, y mirando con creciente furia al importante científico atómico que así se reía de él.

El senador Knowland preguntó a Oppie:

—¿No es cierto, doctor, que los intereses generales de defensa nacional de un país se basan en algo más que en simples avances secretos de tecnología militar?

—Por supuesto —dijo Oppie—, y mi propio concepto de los isótopos en este sentido general es que tienen mucha menos importancia que

los artilugios electrónicos, pero más importancia que, pongamos por caso, las vitaminas.

Para Strauss esto fue el colmo, y pocos años más tarde, cuando William Borden calificó a Oppenheimer de «agente de la Unión Soviética», vio llegada su oportunidad de vengarse. Strauss se las ingenió para que el FBI vigilara a Oppie y le siguiera a todas partes, para que interceptara sus cartas y las abriese, y, según un informe del FBI recientemente hecho público, para que le pusiese un micrófono oculto en Old Manor, su casa del Instituto de Estudios Avanzados. «Por deseo expreso del almirante Lewis L. Strauss, presidente de la Comisión de Energía Atómica», dice el documento del FBI, «se instaló un instrumento de vigilancia en la residencia del doctor J. Robert Oppenheimer, en Princeton, Nueva Jersey, el 1 de enero de 1954».

O sea, que Oppenheimer no sólo había llevado conferencias sobre armas y bombas de hidrógeno al Instituto, sino también micrófonos ocultos y agentes del FBI.

Finalmente venció Strauss. Oppenheimer fue calificado de «riesgo para la seguridad», y privado oficialmente de su permiso de seguridad. Se eliminó del Instituto la gran caja fuerte de alta seguridad, y, con ella, los turnos de guardia de veinticuatro horas al día. Pero, así y todo, Strauss seguía teniendo cuentas que ajustar con J. Robert Oppenheimer: quería que fuese despedido del Instituto, aunque los administradores y el profesorado se negaron en redondo a complacerle en esto. En junio de 1954 el profesorado

se reunió y preparó una declaración en apoyo de Oppenheimer. Uno de sus párrafos decía así:

«Desde hace siete años (el doctor Oppenheimer) ha dirigido con inspirada dedicación el trabajo del Instituto de Estudios Avanzados, tarea para la que se ha mostrado extraordinariamente apto gracias a lo bien que se combinan en su personalidad los intereses científicos en general y la más sagaz erudición. Nos sentimos orgullosos de poder expresar públicamente en este momento nuestro leal aprecio por los muchos beneficios que hemos obtenido de nuestra asociación con él como director».

La declaración estaba firmada por los veintiséis miembros permanentes y los profesores eméritos, entre ellos Julián Bigelow, Freeman Dyson, Albert Einstein, Kurt Gödel, Herman Goldstine, Abraham Pais, Atle Selberg, Oswald Veblen, John von Neumann, Hermán Weyl, y C. N. Yang.

Oppenheimer, a pesar de eso, era ya entonces un hombre derrotado. Había perdido su aplomo y su arrogancia, lo cual posiblemente le anuló como científico. Y había perdido sus obligaciones en Washington, lo que quiere decir que ahora pasaba más tiempo en el Instituto. Algunos de los profesores pensaban que eso era bueno. «Por lo que a mí se refiere», ha dicho Freeman Dyson, «Oppenheimer fue mejor director después de su humillación pública que antes. Pasaba menos tiempo en Washington y más en el Instituto... Se volvió más sereno y más natural, y se mostraba más atento a los problemas cotidianos. Ahora podía volver a hacer lo que más le gustaba: leer, pensar y hablar de física».

Pero la humillación de Oppie tuvo malas consecuencias. Tanto Oppie como su mujer, Kitty, bebían mucho, y después de su derrota las cosas parecieron ir de mal en peor. «Recuerdo una velada típica en esa casa», rememora un visitante, «se sentaba uno en la cocina, cotilleando y bebiendo y sin comer lo que se dice nada. Luego, hacia las diez, Kitty ponía unos huevos en la sartén y les echaba unos chiles, y eso era todo lo que comíamos, a pesar de lo que habíamos bebido». La situación llegó a tal extremo que el matemático Deane Montgomery iba por ahí llamando a la casa de Oppie «La Bourbon Manor», y Oppie, por su parte, decía de Montgomery que era «el más arrogante y terco hijo de puta que he conocido en mi vida».

Los juicios sobre la permanencia —durante diecinueve años— de Oppenheimer en el Instituto como director varían más o menos, según el partido al que pertenezca el que emite el juicio: los físicos le recuerdan con agrado porque les dedicó lo principal de su atención, y los humanistas le admiran por la vasta erudición de que hizo gala en asuntos no relacionados con las ciencias. En una ocasión, Lansing V. Hammond, que trabajaba para el Commonwealth Fund, un programa organizado por el gobierno británico para enviar a jóvenes británicos con aptitudes a estudiar a los Estados Unidos, pidió ayuda a Oppenheimer. Hammond recibía incontables solicitudes y le dijo a Oppie que le ayudara a seleccionar a los candidatos.

Oppenheimer clasificó con bastante rapidez las solicitudes de física, pero luego pidió ver también las otras, incluso las de humanidades.

«Hum..., música indígena norteamericana», comentó, estudiando una de las solicitudes. «La persona que le conviene es Roy Harris; se interesará por este programa... Roy estuvo el año pasado en Stanford pero acaba de trasladarse al colegio de profesores Peabody de Nashville... Psicología social; da Michigan como primera opción... Hummm..., quiere experiencia general, pero en Michigan lo más probable es que le incluyan en un grupo, y entonces aprenderá mucho, pero sólo sobre uno de los aspectos. Pienso que para éste lo mejor sería Vanderbilt; grupos reducidos, y mejor oportunidad de conseguir lo que busca».

«Lógica simbólica», prosiguió Oppie, examinando otra de las solicitudes, «esto es Harvard, Princeton, Chicago o Berkeley; veamos qué es lo que más le interesa dentro de esa disciplina... ¡Vaya! Tu terreno: literatura inglesa del siglo XVIII. Yale, evidentemente, pero sin excluir a Bate, en Harvard, Bate es joven, pero no se le puede tomar a la ligera».

Y así, durante una hora o dos. De unas sesenta solicitudes, Oppie sólo fue incapaz de aconsejar en dos o tres casos. Y en cuanto a los demás..., en fin, daba la impresión de ser poco menos que omnisciente. No es de extrañar que a los humanistas les cayese bien.

Los principales enemigos de Oppie en el Instituto eran los matemáticos, que le veían llenar el Instituto de físicos y no prestar atención apenas a las matemáticas. «Su objeto era humillar a los matemáticos», dice André Weil, «Oppenheimer era una personalidad completamente frustrada, y se entretenía haciendo que la gente

riñese entre sí. Yo mismo le he visto hacerlo. Le gustaba que la gente del Instituto se pelease. Y estaba frustrado, más que nada, porque quería ser un Niels Bohr o un Albert Einstein, y sabía perfectamente que no lo era».

Oppenheimer, sin embargo, tenía una gran opinión de sí mismo. En 1963, después de unos quince años como director, informaba en una entrevista sobre los puntos fuertes y débiles del Instituto de Estudios Avanzados. «Como lugar para miembros permanentes sólo somos de utilidad poquísimas personas», dijo. «En el mundo de la física teórica el número de gente que es mejor que esté permanentemente aquí que en otro sitio no es muy grande, y lo normal es que pasen seis meses del año aquí y los otros seis en otro lugar. Dyson dedicó todo el año pasado a la enseñanza, Yang lo está haciendo este año. Dyson irá a La Jolla el año que viene y Yang pasa gran parte de su tiempo en Brookhaven, aunque esté aquí. De esta manera satisfacen necesidades que les son básicas para sobrevivir».

El punto fuerte de la oferta del Instituto, decía Oppie, era como refugio, como hotel para el intelecto. «Para un estudioso postdoctoral, o para alguien que ejerza la física y le falten contactos, o se haya complicado un poco la vida entre la enseñanza y las responsabilidades domésticas, un año o, más frecuentemente, seis meses al año sin otra cosa que hacer que dedicarse a la física en compañía de numerosos físicos con quienes hablar, es algo maravilloso. Y para esto es para lo que sirve este Instituto».



Pero luego dijo que quizá el Instituto no necesitase profesorado, después de todo, ya que Oppie *casi* podía desempeñar él solo ese papel, que consistía en guiar y aconsejar a los miembros interinos: «Si yo fuese lo suficientemente polivalente, si estuviese lo suficientemente bien informado, si fuese lo suficientemente vigoroso», dijo Oppie, «aquí no necesitaríamos profesorado, siempre y cuando me fuese posible hablar con todos los miembros del Instituto sobre los problemas que se les planteen en todos los terrenos».

Y si alguien hubiera podido realizar tal proeza, ese alguien habría sido, sin duda alguna, J. Robert Oppenheimer.

## **Parte III**

### **Extremos de visión**

#### **Sección 7**

#### **Burbujas, burbujas, trabajos y líos**

Franz Moehn es, sin duda alguna, una de las figuras más importantes y reverenciadas del Instituto de Estudios Avanzados. Está en el Instituto desde 1979, lo que realmente no es mucho tiempo (hay gente que vive allí, literalmente, desde hace décadas). Y, además, incluso en un lugar donde la gente tiende a mantenerse apartada de los demás de manera bastante rígida, todo el mundo parece conocer a Franz Moehn, todo el mundo se ha visto afectado de alguna manera por su trabajo. Franz Moehn es, por si no lo habían adivinado ya, el jefe de cocina.

Moehn nació en Wittlich, Alemania, en la región del valle de Moselle. Su padre tenía un hotel llamado Zum Rebstock, y allí fue donde Moehn aprendió a cocinar. Más tarde fue a los Estados Unidos a trabajar como aprendiz en la cadena de hoteles Sheraton, de donde pasó al Instituto, y ahora tiene su propio despacho particular, lleno de libros de cocina, al otro extremo del comedor principal. Gracias, sobre todo, a su buena cocina, el comedor principal se ha convertido en el verdadero centro social del Instituto, donde todos sus miembros se reúnen los días laborables. No llegan al extremo de cruzar las barreras interdisciplinarias, eso desde luego, pero, por lo menos, se congregan todos en la misma habitación.

La cocina, en la que no pueden entrar los miembros del Instituto, es un auténtico paraíso de cocineros, con paredes de azulejos blancos y utensilios de acero inoxidable. Hay una despensa para la carne, en la que cuelgan faisanes recién muertos, todavía con sus plumas; hay un gran congelador, en el que cabe un hombre, una habitación refrigerada para las verduras, una zona para hornear, y un grupo de cocinas, además de hornos para cocer y para ahumar y grandes ollas para cocinar a presión. Moehn, que en este momento está ahumando unos pescados, glasea al mismo tiempo cincuenta pastelillos antes de rellenarlos de caramelo. Son para la cena de mañana por la noche. En el comedor principal se sirve café y bollos todas las mañanas, almuerzos todos los días laborables y cenas todos los miércoles y viernes. Estas cenas son verdaderos *acontecimientos*, y un menú típico podría ser: quisquillas cocidas, salmis de pintada, arroz silvestre, gratín de salsifi, ensalada, postre. O bien: melón con jamón italiano, scampi con arroz y espinacas, *frisée* con apio, zabaglione. O, también: algún entremés, liza escalfada en mantequilla de avellanas, judías verdes *forestière*, ensalada, postre. O, finalmente: entremeses, faisán asado, espinacas con setas, ensalada, postre.

Comidas como éstas no quedarían completas sin vino, y cada noche que hay cena figura en el menú una pequeña lista de vinos de las bodegas del Instituto. Cuando Moehn llegó al Instituto comprobó que la selección de vinos dejaba bastante que desear, de modo que se lanzó a un viaje de exploración y compra con el apoyo entusiasta del gerente Harry Woolf, que es muy amigo de las cosas buenas de

la vida (Oppenheimer solía recorrer a pie la pequeña distancia —dos bloques de casas— que hay entre Olden Manor y Fuld Hall, pero Harry Woolf lo hace en su Audi). Moehn ahora compra sus vinos con diez años de antelación, de modo que el burdeos lo compra cuando todavía no consta en los catálogos o las cartas de vinos. Como consecuencia de su dedicación, el Instituto cuenta actualmente con una colección de aproximadamente cinco mil botellas.

Los almuerzos del Instituto son como las cenas, aunque en menor escala. Los primeros pueden consistir en pechuga de pollo teriyaki, o *fricassée* de ternera *en crouûte*, o *carbonnade* flamenca, o *mussaka*, o cerdo asado a la sueca, y también, por supuesto, pescado fresco, según lo que dé de sí el mercado cada viernes. Para la gente de poco comer hay siempre una gran selección de platos fríos, ensaladas y sándwiches, cuya gama va de lengua con pan de centeno a ensalada de pollo con pan de trigo. También se puede beber vino, junto con cervezas nacionales y extranjeras, y siempre hay una gran selección de postres: tartas de ruibarbo o de frambuesa, natillas y crema batida con lo que se quiera. Y, para terminar *café espresso* a noventa centavos la taza. Los miembros del Instituto lo pagan todo con su tarjeta de crédito del Instituto. La gente que acude con frecuencia al comedor principal comprueba enseguida que está engordando; y la culpa es sólo de Franz Moehn.

El comedor principal consiste en un gran rectángulo iluminado desde el techo por tres lados con claraboyas; la cuarta pared está completamente acristalada, de modo que desde allí se puede ver un jardín. Las flores varían con la temporada: en este momento, por

ejemplo, hay narcisos, porque es el primero de abril; hay también un grupo de altos abedules, y una cascada que cae a un estanque azul. Cuando hace buen tiempo se puede comer en el jardín, pero incluso dentro no faltan bellas flores situadas en jarrones sobre las mesas. En las paredes, mosaicos de la antigua ciudad de Seleucia, en Mesopotamia, y, justo al lado de los mosaicos, un cuadro abstracto moderno.

Con tantas distracciones a su alcance no es de extrañar que los habituales del Instituto se dirijan rápidamente al comedor en cuanto el reloj pasa de las doce del mediodía. Y una vez en el comedor, se congregan, como era de esperar, por disciplinas: los astrofísicos, normalmente en torno a una de las mesas largas del extremo norte del comedor, los físicos de partículas en un par de mesas más al sur. Los matemáticos parecen dividirse más bien por edades: los más jóvenes, aquí; los más viejos, como Selberg, Weil, Montgomery, algo más allá. Freeman Dyson suele comer con los astros, «con la pequeña pandilla de astrofísicos», como dice él, aun cuando su despacho está junto a los de los físicos de partículas. Lo que ocurre es que Dyson es un caso especial, prácticamente imposible de clasificar. Su trabajo abarca desde la biología molecular hasta las matemáticas teóricas, pasando por la física de partículas y la construcción de reactores nucleares y naves espaciales. Pero los astrofísicos le gustan por su sentido del humor. Todos los martes la pandilla de astrofísicos de Dyson se reúne en un sitio apartado que se llama la Sala de Juntas, donde celebran su almuerzo semanal. Este acontecimiento les gusta tanto a los

astrofísicos que no sólo acuden a él los del Instituto, sino también los de la universidad, y hasta los de los laboratorios Bell, que están cerca.

Son ya las doce y media del mediodía y la Sala de Juntas comienza a llenarse de gente. En el centro hay cierto número de mesas de madera dispuestas en forma de U, y, en torno a ellas, sillas de respaldo de caña, que es donde se sientan los astrofísicos de la zona de Princeton. Son, en total, unos cincuenta, y ya están atacando el plato fuerte, en espera de que John Bahcall dé la señal de comenzar las intervenciones. Bahcall, sentado a la cabecera de la U entre los que van a hablar hoy, es actualmente director administrativo del Departamento de Ciencias Naturales del Instituto, puesto que se asigna por rotación todos los años. Es también el principal astrofísico residente, especialista en el problema de los neutrinos solares, tema sobre el que está escribiendo un libro. Se rumorea que va a ser el próximo director del Instituto («No estoy en la lista de candidatos», dice él, «ni tengo la menor intención de permitir que me pongan en ella»), pero, resulte lo que resulte, por el momento Bahcall no es más que el amable anfitrión del almuerzo de trabajo del martes de los astrofísicos de la zona de Princeton. Bahcall, que lleva una chaqueta de punto a rayas azules y rojas, es partidario de hacer las cosas con calma, y como sin darles importancia.

Hace sonar una cucharilla contra el vaso de agua que tiene delante y se vuelve hacia Don Schneider: «Bueno, Don, vamos a ver, ¿por qué no nos cuentas algo sobre esos hallazgos nuevos tan emocionantes de que tanto se habla esta mañana en el Instituto?».

Schneider, uno de los miembros más jóvenes, tiene un puesto en el Instituto por cinco años, lo que significa que está en uno de los mejores momentos de su esplendor postdoctoral. Ya había dado la noticia tomando café aquella mañana, en el edificio E, pero ahora ha llegado el momento de compartirla con un grupo más amplio de científicos que están aquí para disfrutar de la compañía de otros de su misma especie.

Don carraspea. Se siente algo nervioso, y ¿a quién puede extrañarle? Después de todo va anunciar que esta misma mañana, de madrugada, ha descubierto el objeto más distante que existe en el universo conocido.

«Tengo aquí algunos datos», dice Don, mostrando un mazo de papeles, «relativos a un nuevo quásar. Su corrimiento hacia el rojo es de cuatro coma uno...».

*¡Cuatro coma uno!* Todos los que le oyen saben lo que quiere decir eso. En jerga astrofísica las distancias de los objetos más lejanos — quásares, galaxias remotas— no se expresan en años luz, o en megapársecs, sino en unidades de desplazamiento hacia el rojo. Allá por los años setenta se identificaron unos seiscientos cincuenta quásares —u objetos cuasiestelares—, con corrimientos hacia el rojo de unos tres coma cinco. Esto significa que estaban a miles de millones de años luz de nuestra galaxia. Luego se encontraron algunos otros que estaban algo más lejos, con corrimientos hacia el rojo de tres coma seis o tres coma siete, o sea, al borde mismo de la creación. Pero ¡cuatro punto uno! Resulta demasiado súbito, casi increíble. Unos pocos de los presentes hasta dejan de masticar un

momento, signo de que han oído una noticia verdaderamente importante. Pero Don tiene algo más que contarles.

«El objeto aparece como parte de una lente gravitatoria», dice Schneider, «hemos medido las líneas de absorción y no parece quedar apenas duda. Hemos tenido mucha suerte».

*¡Una lente gravitatoria! ¡Increíble!* Las lentes gravitatorias son galaxias que separan los rayos de luz procedentes de objetos mucho más lejanos, objetos como los quásares. Parte de la luz del quásar circula en torno a un lado de la galaxia, parte va por el otro lado, de modo que se obtiene esta doble imagen —una de cada lado de la galaxia— del mismo objeto. Einstein había predicho la existencia de lentes gravitatorias mucho tiempo atrás, y luego, muy recientemente, se encontraron realmente unas pocas en el cielo. Pero son fenómenos sumamente raros, y con razón. El quásar, la galaxia y el observador —es decir, nosotros, los terrícolas— tienen que estar en fila de la forma adecuada para que pueda tener lugar el efecto lenticular. Pero aquí tenemos a Don Schneider, anunciando nada menos que el descubrimiento del objeto más lejano de todo el universo, y que, además, se encuentra en medio de una lente gravitatoria. ¡Esto es demasiado!

Schneider pasa de mano en mano sus diagramas, y no hay manera de poner en duda sus datos. Longitud de onda representada en función del flujo energético, el gráfico parece una vista distorsionada de la parte baja de Manhattan, con cúspides altas y valles profundos, y con una punta muy aguda, semejante al World



Trade Center. Ése es el quásar del espectacular corrimiento hacia el rojo.

La estancia entera hierve de conversaciones. Los presentes se hablan entre sí a razón de un kilómetro de palabras por minuto, y John Bahcall se las ve y se las desea para moderar el ritmo de preguntas. Quieren saberlo todo: ¿dónde está localizado el objeto?, ¿cuáles son sus coordenadas?, ¿cuál es el tiempo exacto en que se hicieron las observaciones? Pero Don lo contesta todo, hasta la última pregunta..., hasta que queda claro que el interrogatorio ha durado ya bastante, y él, entonces, lo cierra. Hay que escuchar a otro orador, que también tiene derecho a ser oído. Schneider ha puesto el listón muy alto.

Sí, lo ha puesto. Hay gente que está todavía empezando a darse cuenta, a tener una sospecha de lo que se trata. Un desplazamiento al rojo de *cuatro coma uno*, y hoy es el *uno de abril*. ¿No será...? ¡Dios mío! ¡Sí, tiene que ser! Y, de hecho, sí, así es. ¡Claro, ya decía yo..., *una broma del día de los Inocentes!*<sup>2</sup> Don Schneider acaba de dar el notición de la década, consiguiendo que todos los cerebros astrofísicos de la Universidad de Princeton, los laboratorios Bell y el Instituto de Estudios Avanzados crean que, en el espacio de unas pocas horas matinales, en un Instituto sin ningún instrumento de observación, un Instituto donde no hay ni siquiera un par de gemelos, acaba de descubrir nada menos que el objeto más lejano del universo, y justo en el centro de una lente gravitatoria.

---

<sup>2</sup> En la cultura anglosajona, el uno de abril se celebra el día de los Inocentes (April-fool's day). (N. del T).

Schneider no acaba de creer el éxito que acaba de tener. Había creído que lo descubrirían rápidamente, que los augustos de Princeton se darían cuenta de los datos amañados y de los diagramas trucados en cosa de segundos. Mucho le ha costado no soltar la carcajada, y lo mismo le pasó a John Bahcall, que estaba enterado de la broma desde el principio. Pero hay unos pocos que todavía no caen. Al final del almuerzo se acercan a Schneider para felicitarle, para decirle que ha hecho un trabajo verdaderamente estupendo, bravo, bravo, así se hace. Quieren estrecharle la mano. Han tomado su explicación completamente en serio. Este descubrimiento es demasiado bueno para ser verdad, pero, así y todo, ellos se lo creen a pies juntillas.

Don acaba confesándoles la terrible verdad. Ha estado tomándoles el pelo.

Si conocieran mejor a Don Schneider, se habrían mostrado más cautos. Después de todo, Don tiene en la puerta de su despacho una foto de Ricardo Montalbán en el papel de Khan en *Star Trek: The Wrath of Khan*; y debajo pone: *Don Schneider*. Y tiene también otro, justo el tipo de cartel que cabría esperar encontrar en la puerta de la habitación de cualquier erudito inquieto y comprometido, políticamente alerta y sensible. Es un cartel muy convincente, de aspecto casi auténtico, casi, se diría, real. Pero si se acerca uno a mirarlo y lee bien lo que pone en él, se ven consignas del tipo: «¡Estados Unidos, fuera de Nebraska!», «¡Pongamos fin al Imperialismo norteamericano en Afganistán!», y «¡Victoria para el

Movimiento del Pueblo Nebrasqueño!». «Bueno», dice Schneider, «si la gente no tiene sentido del humor, no es culpa mía».

Don no es el único amigo de bromitas de este tipo que hay el Instituto. Por la razón que sea —quizá porque *ven* lo que estudian, o quizá porque lo que debaten un día sí y el otro también tiene cierta *realidad*—, lo cierto es que los astrónomos del Instituto de Estudios Avanzados son un grupito bastante alegre. Los matemáticos, con la cabeza perdida en el Mundo de las Formas, suelen ser, en cambio, gente bastante sombría. Y por lo que se refiere a los físicos de partículas, bueno, en fin..., se sabe que han llegado a creerse los amos de la creación, con sus impresionantes aceleradores de partículas, su extraordinaria teoría novísima de las supercuerdas que sólo unos pocos de ellos llegan a entender. Los astrofísicos, sin embargo, no se toman a sí mismos tan en serio. Por ejemplo, podemos contar el caso del día de los inocentes de abril del año pasado, cuando Kavan Ratnatunga lo pasó en grande jugando con el sistema del ordenador.

Ratnatunga, un sujeto bajo, atezado, bigotudo y con una sonrisa atrayente y suave, es el amo de los ordenadores, o, por lo menos, lo es con el VAX 11/780 que hay en el semisótano. Hace un año, en la víspera del día de los Inocentes, Ratnatunga y Sterl Phinney —que obtuvo luego un puesto de profesor en el Instituto Tecnológico de California— pasaron unas horas componiendo un programa falso en el ordenador, y lo organizaron de tal manera que los que se sentaron aquella mañana y se pusieron a teclear habiendo entrado en el sistema operativo recibieron en la pantalla un mensaje que

decía: «Buenos días, Bob», o el nombre que fuese, porque los dos lo habían programado de manera que el mensaje fuese siempre personal, según la clave de cada uno; y, a continuación:

Soy Hal 9000, del año 2001 de nuestra era, he vuelto de la órbita de Júpiter para controlar todos los sistemas computarizados de la tierra con el fin de parar el proyecto de la Guerra de las Galaxias.

¿En qué puedo serte útil?

El teclador, desconcertado, trataba entonces de salirse del programa tecleando la orden normal de salida —Control Z—, pero con eso lo único que conseguía era recibir este otro mensaje:

Bob, no puedes salir de este programa.

Bob, entonces, volvía a intentar el Control Z:

Bob, si lo vuelves a intentar empezaré a hacer cisco tus datos.

Otra vez Control Z..., y el pobre Bob veía entonces en la pantalla la aterradora declaración:

Está borrándose la ficha #1 de Bob.

Para entonces ya estaba superclaro, por supuesto, que algún bromista se había metido en el sistema e intercalado en él este programa estúpido sólo por pasarlo bien, pero el hecho de saberlo no ayudaba al embromado a salirse de él. Tarde o temprano los embromados tecleaban «Tonto de abril», y entonces, sólo entonces —menos mal—, volvía el ordenador a su estado normal. Pero a todo el mundo le encantó la broma. El programa tuvo gran éxito, y sigue todavía en el sistema, un monumento a la imaginación fantasiosa de Kavan Ratnatunga.

La historia de Don Schneider durante la comida, por el contrario, no era en absoluto improbable. Un par de años antes, Ed Turner, de Princeton, había anunciado en una de las comidas de los martes del Instituto que él y sus colegas del Instituto Tecnológico de California habían descubierto un nuevo quásar y una lente gravitatoria relacionada con él. Turner acababa de volver de una visita de Monte Palomar, donde hizo ciertas observaciones, y en la mañana del almuerzo recibió una llamada telefónica de sus amigos de allá con los últimos datos; el quásar era muy tenue, y su desplazamiento hacia el rojo, después de medirlo, resultaba ser de 3,273, nada extraordinario, pero muy distante a pesar de todo. Durante la comida Turner pasó entre los comensales fotos del objeto tomadas dos noches antes. Las había traído de Palomar él personalmente, haciendo copias para enseñarlas en esa comida. Eran auténticas, aquí sí que no había bromas. Y el hecho mismo de que Don Schneider hubiera podido tomar el pelo de esta forma a los astrofísicos de Princeton mostraba simplemente que era gente acostumbrada a toda clase de noticias semimilagrosas junto con las delicias culinarias de Franz Moehn.

Una semana después de la broma de Don Schneider, los astrofísicos de Princeton se vuelven a reunir para comer, y John Bahcall está de nuevo allí, presidiendo la mesa, sólo que esta vez le acompaña Charles Alcock, visitante del Instituto de Tecnología de Massachusetts, y también Jerry Ostriker, jefe del departamento de ciencias astrofísicas de Princeton. Bahcall deja que la gente coma en paz durante cinco o diez minutos, y luego, de pronto, toca el vaso

con el cubierto para pedir silencio. Piet Hut tiene una noticia importante que dar sobre un colega del Instituto, Jeremy Goodman, que, por desgracia, no ha podido asistir a esta comida: la noche anterior la mujer de Goodman había dado a luz a una hija. Hut, poniéndose a la altura de las circunstancias, comunica incluso el peso de la niña.

«¿Conoces las dimensiones?», pregunta Bahcall. Y pasando ya a lo importante, pide a Alcock, que está hincándole el diente a un plato de gulash húngaro, que les cuente lo que ha descubierto desde la última vez que estuvo entre ellos; Alcock había pasado cuatro años de postdoctorado en el Instituto, de 1977 a 1981.

Mientras todo el mundo escucha entre bocados, Alcock, con un ligerísimo resto de acento neozelandés, se pone a hablar de los elementos pesados que hay en las superficies de las enanas blancas. Las enanas blancas son estrellas que pueden tener alrededor de un 1 por ciento del diámetro del sol y cuya densidad es muy alta, alrededor de un millón de veces la del agua. La observación de estas estrellas muestra que en torno a la superficie de algunas de ellas flotan elementos pesados, más pesados que el helio. Esto es intrigante, porque la única fuente aparente de estos elementos es el medio interestelar circundante, el gas interestelar. El problema está, sin embargo, en que el medio interestelar se compone más que nada de hidrógeno, el elemento más ligero que existe. Los elementos pesados que circundan a esas enanas blancas no pueden proceder, por consiguiente, del medio interestelar. Por otra parte, no hay ninguna otra cosa en el espacio de donde puedan

proceder los elementos pesados, de modo que... ¿de *dónde* proceden?

Alcock bebe un sorbo de agua y da a su auditorio un momento para que piensen en eso, una bonita pausa retórica. Finalmente, añade: «Esos elementos pesados tienen que proceder de *algún sitio*. Pero de una fuente que no les añada hidrógeno, porque en esos elementos pesados no hay hidrógeno. Ahora bien, la cosa es que los asteroides del sistema solar no tienen, esencialmente, hidrógeno, pero tienen gran cantidad de la especie de elementos que observamos en esas estrellas».

O sea, dicho de otra forma, lo que Alcock propone es, ni más ni menos, una teoría de *asteroides extrasolares*. Los astrónomos llevan mucho tiempo acariciando la idea de planetas extrasolares, pero esta idea de asteroides en torno a otras estrellas es completamente nueva. Según Alcock, sin embargo, resulta perfectamente razonable: si hay asteroides en nuestro sistema solar, ¿por qué no ha de haberlos también en otras partes?

«Los asteroides del sistema solar se desintegran, creando así gran cantidad de polvo», dice Alcock, «y la mayor parte de ese polvo cae en el sol. De modo que aquí tenemos una fuente muy verosímil de los elementos pesados que giran en torno a las enanas blancas».

Algunos de los presentes asienten..., pero alguien hace una pregunta: «¿Sobrevivirán esos asteroides a la transición de estrella normal a enana blanca?».

Y es que, antes de convertirse en enanas blancas, las estrellas pasan por una fase intermedia de gigantismo rojo, cuando el horno

solar se infla hasta alcanzar un tamaño varias veces mayor que el normal. Dentro de muchos millones de años, cuando nuestro sol se convierta en gigante rojo, se expansionará y tragará a sus planetas inmediatos, probablemente también a la tierra, que terminará convertida en una gran pelota de escombros quemado en órbita dentro del sol. De modo que la cuestión es si los asteroides extrasolares sobrevivirán al ardiente gigante rojo.

«Bueno, en nuestro sistema los asteroides probablemente no sobrevivirían», dice Alcock, «pero en otro sistema podrían estar a una distancia que fuera el doble desde el centro de la estrella, y entonces no correrían riesgo alguno».

Lyman Spitzer, el astrónomo de la Universidad de Princeton, levanta la mano y afirma que ciertas nubes interestelares tienen insólitas concentraciones de elementos. ¿No podrían esas nubes interestelares ser el origen de los elementos pesados de las enanas blancas?

«La respuesta», dice Alcock, «es que no he examinado esta cuestión en profundidad, pero el problema de las nubes interestelares es que son ricas en hidrógeno, de modo que aquí tenemos otra vez el problema del hidrógeno. En algunas de esas enanas blancas no se ha podido observar *en absoluto* la existencia de hidrógeno, de modo que los elementos pesados tienen que proceder de algún otro sitio».

El auditorio está intrigado —más aún, completamente fascinado— y, al llegar a este punto, el auténtico momento psicológico, Bahcall da las gracias a Alcock por su presentación de la cuestión y se vuelve hacia James Binney.



Binney, que ha llegado de Oxford de visita, es veterano en esas comidas: lleva más de diez años apareciendo por el Instituto de vez en cuando. Con su acento británico, preciso y cortante, explica sus últimos trabajos sobre simulaciones galácticas de ordenador.

Simulaciones de ordenador, esto sí que es astrofísica de nuevo cuño. A pesar de que hace veinte años casi ni se sabía lo que eran, los ordenadores son ahora la base de casi todo cuanto elaboran los astrónomos, desde el nacimiento y la muerte de las estrellas hasta la evolución de las galaxias, pasando por el futuro a largo plazo de nuestro propio sistema solar. El problema de las simulaciones de sistemas muy grandes —como, por ejemplo, las galaxias— es que los modelos de ordenador son con frecuencia dinámicamente inestables. El modelo se mantendrá en la pantalla del ordenador durante un par de segundos o minutos, y luego se derrumbará en violento espasmo agónico o se desintegrará. El reto está en construir un modelo que no sólo sea estable, sino que además imite la evolución observada de cúmulos estelares, galaxias, u otros objetos. Binney está trabajando últimamente en la dinámica de los cúmulos estelares, grupos de unas cien mil estrellas unidas entre sí por su propia gravitación recíproca. Se ha observado que algunos de esos cúmulos cambian de forma con el paso del tiempo. Comienzan, más o menos, como esferas; luego se deforman, asumiendo formas achatadas: por ejemplo, de cigarro puro.

«Se han hecho cosas sobre esto, aquí, en el Instituto, y en Berkeley», dice Binney, «y de esta manera se ha descubierto cuál es la gama de modelos inestables, pero esos cálculos han sido, en general,

problemas de  $n$ -cuerpos carísimos. Sin embargo, uno de mis estudiantes postdoctorales y yo acabamos de terminar en Oxford un cálculo de ese tipo, en el que demostramos que podríamos usar un aparato teórico algo más complejo, capaz de cálculos mucho más sencillos; más sencillos y más baratos, con resultados más exactos». Cuando dos cuerpos celestes se interaccionan gravitacionalmente de manera recíproca —por ejemplo la tierra y la luna—, el problema de calcular sus posiciones futuras se llama «problema de dos cuerpos», y es fácil de resolver. Las ecuaciones apropiadas fueron formuladas por Newton, y los estudiantes universitarios las usan de manera rutinaria en los cursos de astronomía de primer año. Cuando entra en el juego una tercera masa —por ejemplo: la tierra, la luna y el sol— la complejidad del problema aumenta considerablemente, y cuantos más cuerpos se añadan tanto más crecerá su dificultad. Antes de que entraran en liza los ordenadores, la solución de un problema de  $n$ -cuerpo, cuando se trataba de más de cierto número de masas, era poco menos que inalcanzable. Los ordenadores, sin embargo, pueden trabajar con miles de masas, o cuerpos, al mismo tiempo. «Basta con programar el ordenador con las posiciones y las velocidades iniciales de gran número de estrellas», dice Binney, «digamos, diez mil estrellas, y luego se integran las ecuaciones de movimiento, se deja que el sistema mismo evolucione hacia adelante, y se ve lo que ocurre».

Pero, incluso con los mejores ordenadores —y los mejores son difíciles de manipular y difíciles de conseguir—, un cálculo de  $n$ -cuerpos lleva mucho tiempo y cuesta mucho dinero. Binney, sin

embargo, ha dado con una manera nueva de conseguir mejores resultados por una parte muy pequeña del coste habitual. Tomó la idea de la mecánica cuántica y la aplicó a la astrofísica.

Según Binney, la idea consiste en expresar la configuración de las estrellas, pero no en términos de ingenuas coordenadas, como posiciones y velocidades, sino de coordenadas llamadas acciones. «En resumen», dice Binney, «se puede calcular cómo evolucionarán las órbitas sin necesidad de seguir la evolución de todos sus componentes individuales».

Joshua Barnes, Jeremy Goodman y Piet Hut —todos ellos astrofísicos del Instituto— publicaron un artículo en el *Astrophysical Journal* a comienzos de 1986 calculando la dinámica de los cúmulos estelares. Y ahora, unos pocos meses después, Binney ha reproducido esos mismos resultados por una quingentésima parte del coste. Esto es un progreso técnico, no teórico, pero Hut —que está entre los comensales— se muestra muy interesado. Lo malo es que no tiene tiempo para profundizar ahora en este asunto; todavía van a hablar otras dos personas, y Jerry Ostriker es el primero en tomar la palabra.

Y así, la rutina prosigue hasta la una y media, que es cuando termina el almuerzo.

Normalmente cada año residen alrededor de dos docenas de astrofísicos en el edificio E del Instituto. Y para estar siempre al tanto de todo lo que se hace en esta ciencia, los astrofísicos han inventado la hora del café.

Son algo más de las diez y ya hay ocho jóvenes astrofísicos sentados en torno a una mesa de sesiones en la biblioteca del edificio E. La biblioteca es una gran estancia blanca de techo suavemente abovedado, y a lo largo de las paredes hay estanterías llenas de instrumentos de trabajo, o sea, colecciones encuadernadas de revistas como *Nature*, *Astrophysical Journal*, *Acta Astronomica*, *Astrophysics and Space Science*, y muchas más. El *Astrophysical Journal* —*Ap. J.*, como lo llaman ellos— es el medio ideal para publicar cuando se es astrónomo teórico. Es la revista astrofísica de referencia, y aparece en tres variantes: el *Journal* habitual, un *Supplementary Volume* y un cuaderno aparte de cartas, en el que se anuncian esos descubrimientos de última hora que no pueden esperar. Todos los que están en la biblioteca, sin excepción, han publicado algún artículo en *Ap. J.* El otro instrumento de trabajo es el ordenador, de modo que también se ven esparcidos por las dos mesas de sesiones los últimos números de *Byte* («La Revista de los Pequeños Sistemas»), *Computerworld* y *Tugboat* («La nueva carta del grupo de usuarios de TEX»), publicación dedicada a tipografía de ordenador.

Los astrofísicos del Instituto están recostados en sillas mullidas en torno a la gran mesa de sesiones, tomando café. Allí están Moti Milgrom, James Binney, Kavan Ratnatunga, Herbert Rood, y algunos otros. De vez en cuando uno de ellos se levanta, va a la cafetera, que está en un extremo de la estancia, y se sirve otra taza. El principal tema de debate es el ordenador DEC VAX 11/780, que está en el sótano, dos pisos más abajo. El VAX se rompió esta

mañana temprano porque el acondicionador de aire del sótano — que existe y funciona únicamente para el ordenador, no para la gente— no estaba enfriando lo necesario, con lo que se paralizó el sistema. Para la mayor parte de los que están en el comedor esto es una pésima noticia: quiere decir que su trabajo tendrá que paralizarse. No podrán escribir sus programas, iniciar sus simulaciones, corregir sus artículos, recibir su correo computerizado, y así sucesivamente. Entretanto, Piet Hut, el nuevo miembro del profesorado de astrofísica —es uno de los teóricos fundacionales de la Estrella de la Muerte— está sumido en una discusión con James Binney sobre los lenguajes de programación. Hut piensa que son demasiados los lenguajes que se crean pensando en la máquina y no en los seres humanos.

—Lo primero que hay que ver en cualquier programa, el que sea, es si es legible humanamente —dice Hut—, y lo segundo que también lo pueda leer la máquina.

Hut lleva pantalones de pana marrón y camisa a rayas marrón oscuro y canela. Hace frío, pero va con sandalias. Tiene el pelo largo y pelirrojo como la barba y un aire de brujo medieval. Hut se muestra partidario de LISP, el idioma de los teóricos de la inteligencia artificial, pero a Binney no le gustan los paréntesis que hay que usar en LISP.

—Siempre acaba uno contando los condenados paréntesis —dice Binney.

—Bueno, si se dispone de un editor de textos —dice Hut, con su fuerte acento holandés—, será él quien te los cuente, de modo que

ya ves, ninguna dificultad. Lo bueno que tiene LISP es que le fuerza a uno a pensar lógicamente. Es un lenguaje que te invita a desintegrar los problemas en la mayor cantidad posible de unidades pequeñas. Es infinitamente más fácil ver claras las cosas con un programa LISP que, por ejemplo, con un programa en C. Al cabo de una hora de aprender el LISP ya pude hacer programas con él.

Esto a los demás no les impresiona. Uno plantea la cuestión de reserva de almacenaje; en el caso del LISP hay que decirle al aparato con anticipación cuánta memoria va a hacer falta, pero la cosa es si lo sabe uno mismo antes de comenzar a hincarle el diente al problema.

—El LISP lo que tiene es que es lentísimo —dice alguien.

—Y tiene muchos dialectos —interviene otro.

—Hay muchos dialectos en muchos lenguajes de ordenador —dice Hut—. LISP es el segundo idioma de ordenador en antigüedad, después de FORTRAN. El LISP es el lenguaje más semejante a la auténtica manera de pensar de los físicos. Y el que menos concesiones hace a la máquina.

Al cabo de un rato vuelve Bahcall con expresión de alivio: el VAX volverá a funcionar enseguida, dice. Bahcall ha oído el final de la conversación sobre el LISP al entrar.

—Lo malo del LISP —dice—, es que ningún estudiante de ciencias lo aprende. Desde 1965 la gente que se dedica a la informática estaba en contra del FORTRAN alegando que no iba a durar mucho, pero el hecho es que sigue siendo el lenguaje elegido por la ciencia.

—De aquí a veinte años nadie programará más que en LISP —insiste Hut.

—Sí, sin duda —dice otro—, en LISP no hacen falta más que veinte palabras... y diez mil paréntesis.

Todo el mundo ríe.

—Discutir de lenguajes de ordenador es como discutir de política —dice Hut—, ¡siempre se acaba riendo!

En ese momento entra Jeremy Goodman.

—¡Ah, el padre! —exclama Bahcall.

(Fue de Goodman de quien se anunció en la comida del día antes que había tenido un hijo).

Todo el mundo prorrumpe en aplausos, y Goodman sonríe y se sonroja. Al oír tanto ruido entra gente que estaba en la biblioteca para ver qué pasa, pero no es más que un bebé, no se trata de una galaxia nueva o de... algo *interesante*, de modo que casi todos se vuelven a ir como vinieron, pero algunos se quedan. La discusión versa durante un rato sobre modelos por ordenador, pero no tarda en terminar la hora del café, y llega la del seminario de Jeremy Goodman.

Goodman es un miembro relativamente joven del Instituto, no tiene más de veintinueve años, pero dirige un seminario bisemanal sobre los últimos descubrimientos de la astrofísica al que pueden asistir todos los que se interesen por este tema. Organiza sesiones periódicas de estudio, como en la escuela superior, pero no es lo mismo, porque aquí la gente no viene para lucirse, sino porque

quieren *saber*, porque quieren averiguar *lo que ocurre allá afuera*, en las vastas tinieblas celestes.

Goodman cierra la puerta de la biblioteca —al otro lado de la puerta cuelga un letrero que dice: «SEMINARIO»— y se acomoda en su asiento. Quedan cinco personas en torno a la mesa: Piet Hut, del Instituto; Cedric Lacy, un joven que realiza estudios postdoctorales en Princeton; Andrew Hamilton, joven alto y rubio que, como Lacy, está en Princeton realizando estudios de postdoctorado; Bruce Draine, profesor de Princeton que había sido miembro del Instituto de 1979 a 1980; y Anthony Stark, de los laboratorios Bell.

Los laboratorios Bell, a pocos kilómetros de distancia, en Holmdel, estado de Nueva Jersey, iniciaron radioastronomía en la década de los treinta, cuando Karl Jansky notó cierta emisión radioestática en el aparato trasatlántico de radioteléfono de onda corta del sistema Bell. Esta emisión estática resultó proceder del centro de la galaxia de la Vía Láctea. En 1965, también en los laboratorios Bell, Arno Penzias y Robert Wilson descubrieron la radiación de fondo de microondas del universo, el residuo de 3.º sobre el cero absoluto del Big Bang. Tony Stark es uno de los astrónomos más al día de Bell, y está aquí tratando de dilucidar la estructura y la evolución de las nubes moleculares.

Todos los aquí presentes saben de qué se trata. Las nubes moleculares —como su nombre mismo indica— son nubes de moléculas, casi enteramente de hidrógeno, situadas en lo profundo del espacio interestelar. Se sabe, o, por lo menos se piensa, sobre la base de pruebas deducidas de excelentes observaciones, que las



estrellas de la galaxia nacen cuando los cúmulos más densos de estas moléculas colapsan bajo el peso de su propia gravedad. El problema consiste en que las nubes moleculares identificables no parecen colapsar con la rapidez que debieran según esta teoría. Si se observan complejos individuales de nubes moleculares da la impresión de que una de ellas se condensaría y daría a luz una estrella cada millón de años más o menos, porque es el período de tiempo que se supone que tardan esos cúmulos moleculares en sentir recíprocamente su atracción gravitacional y comenzar a condensarse, hasta dar a luz una estrella. Ahora bien, el total de materia contenido en esas nubes moleculares es, aproximadamente, del orden de dos mil millones de masas solares, o sea que hay suficiente materia estelar flotante para formar dos mil millones de soles. Pero si hacemos un sencillo cálculo —es decir, si dividimos dos mil millones de masas solares por un millón de años, que es el tiempo que debiera tardar una nube molecular cualquiera en derrumbarse— veremos que debieran formarse estrellas a un ritmo de unas dos mil al año. La cuestión clave, sin embargo, es que las observaciones revelan un ritmo de nacimiento de estrellas de sólo tres o cuatro al año, o sea que hay un factor de discrepancia de un millar entre el ritmo de nacimientos estelares observados y el ritmo que debería regir según las mejores teorías sobre la manera y los intervalos de nacimiento de estrellas nuevas a partir de nubes moleculares. Es decir, que la astrofísica teórica se ve ante un muro cerrado de observaciones empíricas. Hay algo en algún sitio que no encaja, desde luego, pero ¿dónde?

En el seminario de hoy los astrofísicos están estudiando un caso especial de nube molecular: las de la constelación de Orion. Anthony Stark y sus colegas de los laboratorios Bell son astrónomos observacionales, y Stark dice que entre todos ellos se han dedicado «a dibujar por fin el mapa de Orion», y explica lo que han encontrado en esa región, una densidad molecular de tal o cual orden, pero acaba reconociendo que buena parte de la nube es inaccesible a la observación.

Alguien pregunta a Stark cómo puede saber la densidad media de la nube si gran parte de ella está escondida. Otro dice que le gustaría que tuviesen allí delante una imagen de las nubes moleculares de Orion, porque así podrían ver lo que estaban debatiendo, y Goodman se levanta y va a las estanterías donde hay números atrasados del *Ap. J.* Saca unos pocos volúmenes y los hojea y, finalmente, da con lo que busca. Al cabo de un rato vuelve a la mesa de conferencias con el libro abierto mostrando un mapa de las nubes moleculares de Orion.

Stark reconoce el mapa inmediatamente. «Ah, sí, es el viejo artículo de Kutner». (Más exactamente: se trata de «The Molecular Complexes in Orion», por M. L. Kutner y otros, publicado en el *Astrophysical Journal* en 1977).

Todo el mundo se levanta para echar una ojeada al mapa de nubes moleculares.

—Este mapa —explica Stark—, es en gran medida ficticio, basado en datos muy escasos.

Lo dice completamente en serio, pero todos ríen al oírle. Stark prosigue, explicando que es posible calcular con un grado razonable de exactitud la densidad general de una nube molecular sin haber observado más que una pequeña parte de ella.

Oyendo esto, Andrew Hamilton enarca una ceja y sonríe, se siente un poco escéptico respecto a todo este asunto.

En este momento, mientras todo el mundo se apretuja en torno al mapa, entra otro miembro con mucho retraso. Se trata de Philip Solomon, de la Universidad del Estado de Nueva York, en Stony Brook. Es mayor que los demás, ya ronda los cincuenta y empieza a quedarse calvo. Solomon estuvo en el Instituto entre 1973 y 1974, y ha vuelto ahora para pasar aquí el curso de primavera. Es astrónomo observacional y está interesado principalmente en teoría; al verle llegar todos se vuelven hacia él, pensando que va a ser el que les saque de la dificultad. Goodman se la explica y Solomon da su opinión inmediatamente: «Bueno, los ritmos de colapso no son iguales en todas las nubes», dice.

Va a la pizarra y traza un dibujo de una nube molecular y, debajo de ella, un histograma que muestra las densidades moleculares en diversas regiones. Piet Hut, que lleva algún tiempo en silencio, no encuentra en absoluto de su gusto este cuadro y va a la pizarra a trazar otro distinto.

—No, no, no es *así* —objeta Solomon, moviendo la cabeza.

Siguen así algún tiempo, corrigiéndose mutuamente los esquemas, y luego vuelven juntos a la mesa de conferencias.

—Bueno, vamos a ver el artículo —propone Jeremy Goodman.

Todos los presentes tienen un artículo sobre la mesa —era parte de sus «deberes» de hoy— sobre el problema de las nubes moleculares, pero casi todos ellos confiesan que no les sirvió de mucho.

—Todo este material básico, de estudiante de primer curso, sobre la gravedad..., ¡y se publica en *Ap. J.*!; la verdad, parece increíble —dice Bruce Draine.

—Bueno, pues pasemos al tema siguiente —propone Piet Hut.

Pero no le obedecen. Siguen debatiendo el tema de las nubes moleculares, tratando de comprender el sentido de uno de los diagramas.

Los científicos pasan otra media hora discutiendo, tratando de aclarar la razón de que todas esas nubes moleculares no colapsen con la rapidez que debieran. Hablan de «densidades columnares», de «tiempo de cruce», de «ritmos de colapso de núcleos», y así sucesivamente, pero sin que parezcan avanzar mucho. De vez en cuando alguien hace una pausa y pregunta: «¿Pero esto lo *sabemos* de verdad?», subrayando el hecho de que todos ellos están tratando de teorizar sobre la base de datos incompletos, hipótesis no demostradas y suposiciones que no han sido puestas a prueba. Para cuando termina el seminario, un poco después del mediodía, lo único en que han podido ponerse de acuerdo es en que las nubes moleculares no son tan densas como habían pensado al principio. Pero el misterio inicial, o sea, la diferencia que se observa entre los ritmos de nacimiento de estrellas y el ritmo que predice la teoría, sigue sin aclararse.

La astrofísica no se convirtió en una disciplina importante en el Instituto hasta después de que Oppenheimer dejase de ser director, en 1966. Oppie concentró su atención en la física de partículas, y llevó al Instituto a algunos de los principales cerebros de esa ciencia, lo cual, por otra parte, es perfectamente comprensible. La física de partículas, después de todo, era el centro de la acción por aquel entonces. La teoría cuántica había producido grandes conmociones, y la bomba atómica, bueno, la bomba atómica... era una cosa aparte, por lo menos en lo referente a cruciales experimentos científicos. Por todos los puntos del globo surgían ciclotrones, y los experimentalistas encontraban nuevas partículas, unas detrás de otras, y daban constantemente con nuevas teorías para explicar las partículas en cuestión. Todo este campo científico era un constante pandemónium, y los teóricos apenas si tenían tiempo de procesar los resultados que les daban los experimentalistas.

Pero en astronomía no había habido una revolución como ésta, ni mucho menos. La astronomía parecía seguir avanzando al ritmo de siempre, a un ritmo de lento, pero constante crecimiento. Y esto tenía una buena explicación: en primer lugar, aunque la astronomía pasa con frecuencia por no ser otra cosa que una rama de la física, no se puede decir que sea una ciencia experimental en el mismo sentido en que lo es el resto de la física. En la física propiamente dicha, las teorías se pueden poner a prueba por medio de experimentos de laboratorio. Algunos de estos experimentos pueden necesitar potentísimos aceleradores, pero tienen por lo menos la

virtud de zanjar la cuestión una vez llevados a cabo. Sin embargo, no se puede decir lo mismo, en general, de la astrofísica, porque no hay manera alguna de salir al espacio exterior y ponerse a manipular estrellas y galaxias para comprobar directamente si las teorías son o no ciertas. En vista de ello, los astrónomos observacionales no tienen más remedio que conformarse con sentarse ante sus telescopios y escrutar pasivamente el espacio. Por esta razón la astronomía tiene más cosas en común con la geología, ciencia en la que la pura observación pasa delante de la experimentación, que con las ciencias cuyas teorías son comprobables en el sentido normal de esta palabra.

Hay otra razón para explicar el lento avance de la astronomía, y es que los instrumentos de recogida de datos —o sea, los telescopios ópticos— no han cambiado mucho en los últimos doscientos años. Al final de la Segunda Guerra Mundial el telescopio más grande del mundo era el reflector de dos metros y medio del Observatorio de Monte Wilson, en las afueras de Los Ángeles. Pero siglo y medio antes, en 1789, el astrónomo William Herschel ya observaba los cielos con un reflector que tenía la mitad de ese tamaño, el instrumento que construyó en Inglaterra. De modo que se ve cómo la astronomía se basaba en un cuerpo de información de lento crecimiento y en muchas teorías, pero carecía de medios para ponerlas a prueba.

Sin embargo, después de la Segunda Guerra Mundial, tuvo lugar una revolución en astronomía que puede compararse con la que produjeron los aceleradores en la física de partículas. Se trata,

naturalmente, del nacimiento de la radioastronomía. Todos los telescopios, desde Galileo hasta nuestros días, habían ido recogiendo datos en forma de rayos visibles de luz. Los cuerpos celestes, sin embargo, emiten mucho más que luz visible: emiten torrentes de ondas de radio, rayos X, rayos gamma y rayos infrarrojos y ultravioletas. Antes de descubrirse la radioastronomía, los observadores sólo captaban una parte pequeña de los datos que les llegaban, y los demás pasaban junto a ellos como briznas de paja flotando en el viento. Era como si los astrónomos fueran daltónicos y no vieran más que matices de gris mientras un universo en glorioso tecnicolor florecía sobre sus cabezas. Cuando los radiorreceptores comenzaron a surgir en torno a ellos, en la década de los cincuenta y de los sesenta, los científicos adquirieron de pronto una visión nueva del universo.

El cielo radio no es una simple copia del cielo visible. Objetos ópticamente brillantes —como la luna y los planetas— son silenciosos en cuanto a longitudes de onda radio, mientras los que son invisibles al ojo humano —como las gigantescas nubes de materia a ambos lados de una radiogalaxia— se vuelven brillantes en el espectro radioeléctrico. Con el desarrollo de los telescopios de rayos X y rayos gamma, los sensores infrarrojos y los observatorios de neutrinos, los astrónomos se encontraron de pronto con que habían adquirido sentidos nuevos.

Más tarde, en la década de los setenta, tuvo lugar otra revolución: el ordenador dio a los astrofísicos una medida de control experimental sobre el objeto de sus observaciones. Después de cientos de años de

limitarse a mirar cosas situadas a años luz de distancia, los astrónomos comenzaban a manejar versiones en miniatura de entidades celestes que iban desde asteroides en órbita hasta estrellas individuales, cúmulos de estrellas, galaxias, cúmulos de galaxias, e incluso —sin modestia alguna— el conjunto mismo del universo. Era una manera nueva de poetizar los fenómenos, una nueva expresión de la soberbia del científico. Ya hay bastante soberbia en pensar que un pequeño grupo de personas, en un planeta que forma parte de un vasto sistema de estrellas, puede llegar a conocer la forma y la estructura de objetos inmensos situados a grandísimas distancias, pero también hay una importante, y precipitada, dosis de presunción en pensar que la ciencia puede reducir toda una galaxia, más aún, todo el universo físico, a una avalancha de electrones a través de unos cuantos chips.

Una vez abierto el universo gracias a la radioastronomía, y con los ordenadores dando a los teóricos modelos funcionales de las cosas mismas que observaban, el Instituto de Estudios Avanzados comenzó a tomar en serio la ciencia astrofísica. En 1971 contrató a John Bahcall como profesor. Cuando llegó a ser director administrativo del Departamento de Ciencias Naturales no tuvo el menor reparo en llenarlo de astrónomos. Ahora, cuando los administradores del Instituto tienen que andar a la rebatiña para encontrar sitio donde montar sus oficinas, o sus habitaciones en el edificio de miembros invitados, le echan la culpa a John Bahcall, que no hace más que traer astrónomos al Instituto. Los astrofísicos



del Instituto, junto con los astrónomos universitarios de al lado, han hecho de Princeton un centro mundial de astrofísica. «El Instituto es el mejor centro del mundo de dinámica estelar en este momento», dice Douglas Heggie, visitante de la Universidad de Edimburgo. «Se están haciendo cosas muy interesantes aquí ahora, y cada vez que vengo de visita me entero de algo que me sorprende». James Binney está de acuerdo con esto: «En mi campo particular, el mejor sitio del mundo es, con mucho, Princeton. He probado Cambridge, y California, y yo diría que no tienen ni punto de comparación».

Los astrofísicos del Instituto lo estudian todo, desde el sol hasta los quásares más lejanos, pero muchos de ellos fijan su atención en las estrellas y en los cúmulos de estrellas, y en objetos más lejanos todavía, «extragalácticos», como ellos los llaman. No hay mucha gente en el edificio E dedicada a la ciencia planetaria —es decir, estudiando los planetas y los satélites de nuestro propio sistema solar—, por más que, naturalmente, haya excepciones, como, por ejemplo, Scott Tremaine. Tremaine investigó la estructura de los anillos de Saturno y predijo que la explicación de esa estructura, en la medida en que se observaba, era que tenía que tratarse de satélites en órbita en torno al planeta, por encima y más allá de los otros satélites de Saturno que ya se conocían. Y así fue, porque, cuando la nave espacial *Voyager I* llegó a Saturno, en 1980, los satélites «guardianes» estaban precisamente allí, en órbita, justo como había dicho Tremaine que estarían.

Y luego está Piet Hut, famoso por Némesis, la «Estrella de la Muerte». Fue Hut quien, en 1984, junto con Marc Davis y Richard Muller, aventuró que podía haber otra estrella en nuestro propio sistema solar, un compañero del sol todavía no visto. Davis, Hut y Muller analizaron la aparente periodicidad de extinciones masivas que tienen lugar en la tierra y que parecen repetirse con una regularidad de veintiséis millones de años aproximadamente, y llegaron a la conclusión de que esta norma sólo podía deberse a la existencia de un compañero del sol que no veíamos y cuya órbita en torno al sol era de veintiséis millones de años. La estrella en cuestión surcaría el espacio a una distancia de unos tres millones de años luz, luego volvería a acercarse al sol antes de salirse de nuevo del sistema solar. En estos viajes de ida y vuelta, el campo gravitatorio de la Estrella de la Muerte desplazaría de sus órbitas a ciertos cometas, situados en el lejano interior de la nube de Oort, haciéndoles estrellarse contra la tierra, donde darían lugar a períodos de frío y oscuridad semejantes a «inviernos nucleares» capaces de extinguir a los dinosaurios y otras especies en una gigantesca ola de extinción de masa.

«Cuando encontremos esa estrella compañera del sol, si es que la encontramos», escribieron Hut y sus colegas en *Nature*, «proponemos que sea bautizada con el nombre de Némesis, la diosa griega que persigue implacablemente a los que son demasiado ricos, orgullosos y poderosos. Pero nos tememos que si no se acaba por dar con esa estrella este artículo será nuestra Némesis».

Todavía no se ha encontrado la estrella compañera del sol, pero en 1985 Hut fue nombrado profesor del Instituto, no sólo por su idea sobre Némesis, sino por el conjunto de sus investigaciones sobre la dinámica de los cúmulos estelares y sobre el problema de los tres cuerpos.

En astrofísica, teoría y observación están íntimamente entrelazadas, y muchos son los miembros del Instituto que han pasado realmente algunas horas ante el telescopio. En el Instituto no hay telescopios, de modo que, para hacer observaciones, hay que ir a otro sitio. Con frecuencia nuevas observaciones dan al traste con viejas teorías, y esto es algo a lo que los astrónomos no van a tener más remedio que acostumbrarse.

«La astrofísica es una ciencia muy joven», dice James Binney, «la información que tenemos por cada unidad de desecho existente en el espacio es muy limitada, de modo que, en términos generales, no disponemos de muchos contactos entre el modelo y la realidad. Pocos de nosotros nos sentiríamos, por consiguiente, asombrados si topáramos con algo que no encaja en nuestro modelo. En astrofísica todos nos ponemos nerviosos en cuanto hay algo que va mal, y si son dos las cosas que van mal, bueno, pues entonces..., entonces nos ponemos a pensar que lo mejor va a ser revisar de nuevo el problema de pe a pa».

Hoy es martes, el día en que los astrofísicos parecen ponerse en órbita en torno a Princeton: los de la universidad vienen al Instituto a su comida semanal, y los del Instituto van a la universidad a la conferencia de la tarde. Aunque en los dos acontecimientos el

ponente será el mismo y vendrá de fuera, es preciso que no se produzcan repeticiones en ambas charlas, porque el auditorio no varía. Pero hoy es un día especial para los astrofísicos de Princeton, porque llega Margaret Geller, del Centro Harvard-Smithsonian de Astrofísica, con sede en Cambridge, estado de Massachusetts, y va a contar la auténtica verdad sobre todas esas... *burbujas* de las que tantas cosas han oído. Geller y dos colegas del Centro de Astrofísica, John Huchra y Valérie de Lapparent, han demostrado colectivamente que las galaxias del universo parecen estar distribuidas, no más o menos al azar, como se pensaba hasta ahora, sino sobre la superficie de burbujas cósmicas.

Los astrofísicos ya habían oído hablar de esto, naturalmente, a través de los cauces normales del sistema de comunicaciones entre colegas. Geller había presentado sus hallazgos hacía unos pocos meses —en enero, para ser más exactos— en las reuniones de la American Astronomical Society, que tienen lugar en Houston. Los astrofísicos pertenecientes a la red de distribución de «preimpresos», ya habían recibido un ejemplar adelantado (un «preimpreso» escrito conjuntamente con el título «A Slice of the Universe», «Una rebanada de universo», antes de su aparición en el *Astrophysical Journal (Letters)*). Y aunque se hubieran perdido estas primicias, habrían sabido de esta teoría de las burbujas leyéndola en los periódicos, pues se publicó en todas partes, desde la revista *Time* (cuyo artículo se titulaba «Burbujas en el universo») hasta diarios poco conocidos como el *Green Valley News-Times*, de Tucson, estado de Arizona. Así y todo, no todo el mundo está absolutamente convencido de que el

universo tenga una estructura celular a gran escala, y por eso viene Geller a Princeton: para exponer personalmente su teoría. Se dice que viene armada hasta los dientes..., con diapositivas, gráficas en transparencias, e incluso una película.

En el almuerzo de trabajo, Margaret Geller está sentada a la cabecera de la mesa, junto con John Bahcall, Jerry Ostriker y Ed Turner. Geller, que ya ronda los cuarenta, luce esbelta y atractiva con su traje sastre de color negro. Bohdan Paczynski, el organizador de la serie de conferencias de la Universidad de Princeton, está en una de las mesas laterales, y John Bahcall le pide que anuncie la charla de esa tarde en Peyton Hall.

—Sí, sí, muy bien —dice Paczynski, con su acento polaco—. Será a las dos y media. La conferencia correrá a cargo de nuestra invitada Margaret Geller, y se titulará «Burbujas, burbujas, trabajos y líos»<sup>3</sup>. Tengo entendido que se proyectará una película.

—Es apta para menores, ¿no? —pregunta Bahcall.

Margaret Geller, que acaba de meterse en la boca un poco de lechuga, asiente: «Sí, justo, eso», dice en cuanto traga lo que estaba masticando, «podéis traer a los niños».

Bahcall pide a Philip Solomon que hable de sus recientes observaciones sobre nubes moleculares.

—Y se trata de datos de verdad —dice Bahcall—, no de simulaciones de ordenador.

Solomon pasa de mano en mano dos hojas llenas de datos y comienza su charla, en la que se resume mucho de lo que ya había

---

<sup>3</sup> Estribillo que cantaban las brujas en *Las brujas de Macbeth*: «Bubble, bubble, toil and travel». (N. del T).

dicho en el seminario de Jeremy Goodman el día antes. Habla durante unos diez minutos, luego se ofrece a responder a preguntas.

Jerry Ostriker y Lyman Spitzer, profesores de Princeton, se enzarzan en una cortés discusión sobre algo dicho por Solomon, y Bahcall hace lo que puede por interrumpirles haciendo sonar la cuchara en su vaso de agua. Acaba consiguiéndolo. La concurrencia está impaciente por oír a Geller, aunque lo que ahora exponga no será su conferencia sobre las burbujas, y, finalmente, Bahcall se dirige a ella:

—Todo el mundo está impaciente por escuchar tu conferencia shakespeariana de esta tarde —dice Bahcall.

—Se titula «Mucho ruido y pocas nueces», ¿no? —pregunta Ostriker. Geller lo está pasando en grande. Se graduó en Princeton, doctorándose en 1975, cuando los almuerzos del Instituto estaban vedados a los estudiantes. Ahora vuelve con otra categoría, y todas estas bromas le hacen mucha gracia.

—Os diré —comienza— que mi colega John Huchra ha estado observando corrientes hacia el rojo cerca de la lente gravitatoria, y ha comprobado la existencia de un cúmulo de quásares con un corrimiento hacia el rojo de 4,1...».

¡Ah, vaya!, ¿de modo que la noticia del falso quásar de 4,1 de corrimiento hacia el rojo ha llegado hasta el norte, hasta Cambridge, estado de Massachusetts? (Luego Ed Turner dirá que también se ha corrido hasta el sur, hasta Charlottesville, estado de Virginia. Le

llamaron unos astrónomos de la universidad de allí, pidiéndole detalles). Finalmente, Margaret Geller comienza a hablar en serio.

Ella y sus colegas proyectan explorar las consecuencias de sus descubrimientos sobre burbujas, dice Geller. Lo más importante que quieren hacer es confirmar si el cuadro que presentan las observaciones de corrimiento hacia el rojo se corresponde en buena medida con lo que realmente hay en el espacio tridimensional. Han descubierto burbujas en el universo estimando las distancias de las galaxias según sus corrimientos hacia el rojo, es decir, según el grado en que la luz procedente de las galaxias se desplaza hacia el extremo rojo del espectro.

—El corrimiento hacia el rojo es medida de tres cosas —explica—. En primer lugar, de la expansión cosmológica; en segundo, de velocidades en sistemas ligados de galaxias; y en tercero, de flujo a gran escala. Ahora bien, lo que queremos saber es la relación entre la estructura en el espacio de corrimiento hacia el rojo y la estructura en el espacio real, y eso no lo sabemos con exactitud, de modo que tendremos que hacer un cálculo aproximado de distancias relativas por otros medios.

A continuación Margaret Geller describe las observaciones proyectadas con detalles técnicos, y luego se pasa a las preguntas. Finalmente, como el tiempo pasa, John Bahcall se dirige a Bohdan Paczynski.

—A ver, Bohdan, ¿por qué no dices algo divertido antes de que nos vayamos?

Paczynski no se desconcierta. Ha estado pensando en el problema de las explosiones de rayos gamma, y se le ha ocurrido una nueva idea.

No es que esto sea, en sí, sorprendente. Las explosiones de rayos gamma son episodios cortos, relativamente raros, de unos pocos segundos de duración, y sólo se observan cuatro o cinco veces al año. No se sabe casi nada seguro sobre ellos, ni si proceden de lejos o de cerca de la tierra, y los astrónomos dan constantemente explicaciones contradictorias y, con frecuencia, extrañas.

—Como sabéis —comienza Paczynski, cuya voz recuerda un poco la de Bela Lugosi—, esas cosas han sido explicadas de las maneras más diversas, se ha llegado incluso a decir que son señales de extraterrestres en peligro.

Uno de los problema para identificarlos, explica, es que todavía no es posible determinar su origen, no se sabe si proceden de la región de la nube de Oort, en el borde extremo del sistema solar, o de «distancias cosmológicas», o sea, de fuera de la galaxia. En ese momento Bahcall le interrumpe:

—Hasta para un almuerzo de trabajo, Bohdan, esta incertidumbre me parece un poco excesiva.

Paczynski se muestra de acuerdo, pero sigue adelante y expone su nueva idea:

—Quizá esas explosiones sean producidos por cometas que chocan con estrellas de neutrones. Esto daría lugar a una súbita pulsación de rayos gamma que se vería desde la tierra, y explicaría perfectamente todos los datos de que disponemos.



Los presentes comienzan a analizar mentalmente esta idea.

Philip Solomon rompe el silencio:

—Ahora, la única cuestión que nos queda por examinar —dice— es si los cometas que chocan con las estrellas de neutrones están acabando con los dinosaurios.

La conferencia que dará Margaret esta tarde tendrá lugar en la sala de Peyton Hall, que pertenece al grupo de Ciencia Astrofísica de la Universidad de Princeton. Es una sala de conferencias con varios niveles e hileras de sillas dotadas de pequeños soportes laterales para tomar notas. La conferencia está programada para las dos y media, pero a las dos y veinticinco todavía no se ve un alma en la sala, excepto Paczynski, que está manipulando la cámara cinematográfica del fondo. A las dos y veintisiete minutos, sin embargo, los astrofísicos empiezan a congregarse en la sala, y a las dos y treinta y un minutos ésta está llena en tres cuartos de su capacidad. Todos los miembros del Instituto parecen estar allí. Los dos Bahcall, John y Neta, su mujer, Tsvi Piran, Jeremy Goodman, Don Schneider, Kavan Ratnatunga, Stefano Casertano, James Binney, y todos los demás, vamos, lo que se dice todos, excepto Piet Hut, que está en Japón asistiendo a una conferencia. Los astrofísicos de Princeton también están presentes, por supuesto: Jerry Ostriker, Lyman Spitzer, Ed Turner, Jim Gunn, y Jim Peebles. Peebles escribió el libro sobre el aspecto del universo, *The Large-Scale Structure of the Universe*, y lo terminó durante su año sabático de 1977-1978 en el Instituto. «Cuando escribí mi libro», dice, «corrían rumores, insinuaciones más bien, sobre esas estructuras

semejantes a filamentos, o, más exactamente, a sábanas, pero era cosa bastante dudosa, y yo me sentía escéptico. Hay muy poco sobre ese tema en mi libro».

Los postdoctorales de Princeton —Andrew Hamilton y Cedric Lacy— tienen sus cuadernos de notas listos, y además hay un puñado de estudiantes. En total habrá en la sala unas setenta y cinco personas dispuestas a ver cómo Margaret Geller reduce el universo a espuma. Paczynski hace la presentación.

—La conferenciante es hoy Margaret Geller, del Centro Smithsoniano para la Astrofísica, y su conferencia se titula «Burbujas, burbujas, trabajos y líos».

Margaret Geller, que está sentada a su lado, se levanta.

—Charles Alcock me invitó una vez a dar esta charla en el MIT —comienza— y me preguntó qué título le iba a dar; yo entonces me acordé de «Burbujas, burbujas, trabajos y líos», y él me dijo entonces: «¿No crees que estaría mejor estrépito<sup>4</sup>, burbujas, trabajos y líos?».

Grandes carcajadas. Edwin Hubble fue el astrónomo de comienzos del siglo XX que hizo posible el conocimiento de casi todo cuanto estamos a punto de oír de boca de Margaret Geller. En primer lugar, Hubble descubrió que hay todo un universo más allá de lo que a primera vista parece el cielo nocturno; o, dicho de otra manera, descubrió que hay más galaxias además de la Vía Láctea.

Con pocas excepciones, los objetos nocturnos visibles a simple vista son las estrellas de nuestra propia galaxia, que es la Vía Láctea.

---

<sup>4</sup> En inglés, *hubble*, como el apellido del astrónomo, significa «estrépito». (*N. del T.*)

Hay, sin embargo, ciertos objetos semejantes a estrellas, cuyo aspecto es confuso e indistinto, como si se les viera a través de una niebla o un velo. Parecen manchas luminosas en lugar de puntos de luz. Los astrónomos solían llamar a esas fuentes de luz desdibujada nebulosas, y pensaban que serían cúmulos de tenues estrellas, o nubes de gas y polvo iluminadas por las estrellas que lucían en su interior. De cualquier forma, los astrónomos estaban convencidos de que esas nebulosas formaban realmente parte de nuestra propia galaxia.

Pero, en 1924, Edwin Hubble, sirviéndose del telescopio de dos metros y medio del Monte Wilson, localizó estrellas individuales en el interior de lo que entonces se llamaba nebulosa de Andrómeda y ahora se llama galaxia de Andrómeda: las estrellas eran tan tenues que tenían que estar lejísimos, y Hubble averiguó la distancia al descubrir Cefeidas variables —estrellas utilizadas para la medición de distancias astronómicas— entre las estrellas de Andrómeda. Calculó que la nebulosa tenía que estar a ochocientos mil años luz de distancia, o sea, ocho veces más lejos que la estrella más remota de la galaxia de la Vía Láctea (cálculos más recientes fijan esa distancia en más de dos millones de años luz). La nebulosa de Andrómeda era en realidad una galaxia por derecho propio.

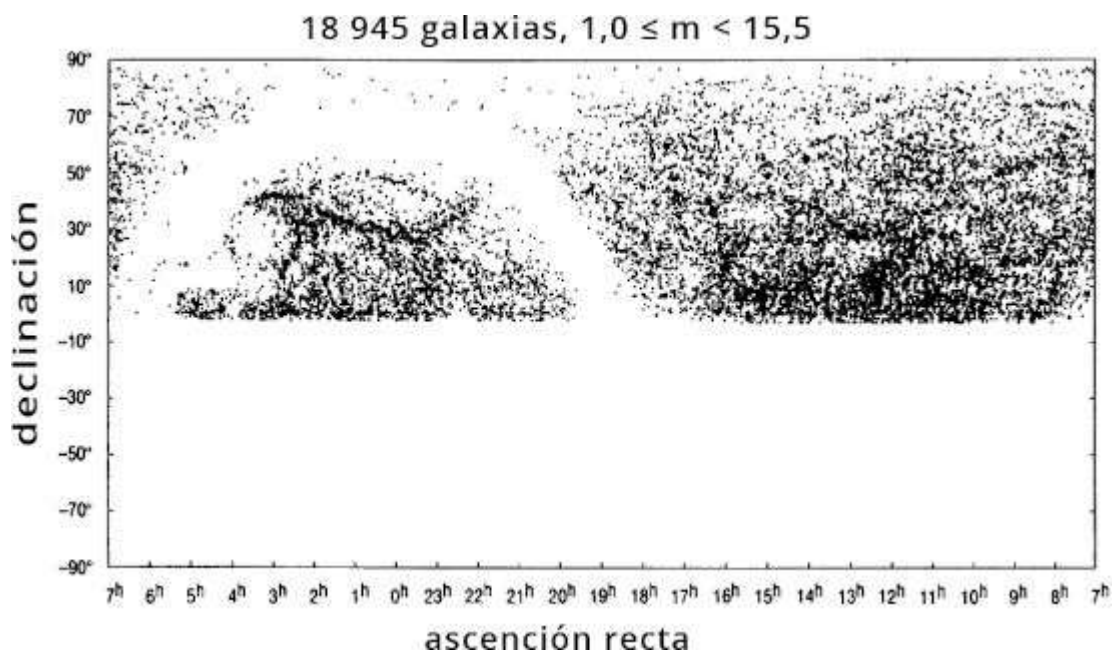
Hubble fue el campeón del estudio de las galaxias, y, de esta manera, puso fin a la concepción que tenían los astrónomos sobre la extensión y la composición del universo. Clasificó las galaxias, según categorías que actualmente se aceptan: galaxias espirales normales, galaxias espirales barradas, galaxias elípticas, galaxias

irregulares, y, lo que es más importante, descubrió la ley del corrimiento hacia el rojo, que ahora se llama ley de Hubble. Sirviéndose de ella comprobó que el universo no es una estructura estática y ajena al paso del tiempo, sino, por el contrario, una estructura en expansión, en crecimiento, hinchándose, y que las galaxias se alejan de ella y unas de otras como las pintas de un globo que se hincha. La ley de Hubble —según la cual las galaxias se alejan a velocidades directamente proporcionales a sus distancias, es decir, cuanto más lejana es la galaxia tanto más rápido será su alejamiento— es ahora una de las bases de la astrofísica. El nuevo panorama del universo que va a presentarnos Margaret Geller se basa en gran medida en técnicas iniciadas por Hubble.

Margaret Geller espera que la gente deje de reírse y ataca el tema principal de su conferencia. Va a hablar, sobre todo, de la estructura a gran escala del universo. ¿Cómo es? ¿Cómo se forma? ¿Cómo evoluciona? Las respuestas tradicionales, concretadas en los programas cartográficos galácticos de mediados de siglo, se basan en la doctrina, que había llegado a ser artículo de fe entre los astrónomos, de que, aunque las galaxias estaban congregadas en cúmulos y grupos de cúmulos, estos conjuntos se distribuían, más o menos al azar, en todo el espacio, sin ninguna regularidad aparente.

Margaret Geller proyecta un gráfico en la pantalla. A los no habituados a estas cosas les parecería que es la Vía Láctea en una noche oscura y limpia: una densa tira de puntos a través del campo

visual. Pero no se trata de la Vía Láctea, porque, en este caso, cada punto (en realidad no son puntos, sino crucecitas: +) no es una estrella, sino una galaxia, y hay unas diecinueve mil distribuidas por toda la pantalla. Excepción hecha de una concentración de puntos semejante a un hilo que describe una curva en forma de ese, las galaxias parecen distribuirse de manera uniforme, exactamente como exige la doctrina de la homogeneidad. No aparecen burbujas por ninguna parte, y con razón: el panorama que muestra la pantalla es un plano de distribución galáctica en dos dimensiones, en el que cualesquiera burbujas existentes no serían fácilmente visibles (véase la Figura 6).



*Figura 6. Plano bidimensional de 18 945 galaxias.*

El estudio que hizo Margaret Geller con Huchra y de Lapparent adoptó una actitud completamente distinta en lo referente a la tarea

de confeccionar mapas galácticos. En lugar de trazar la posición de las galaxias en dos dimensiones solamente —su altura y su distancia con respecto al centro y con respecto a las otras—, decidieron añadir una tercera dimensión: su lejanía con respecto al observador. Este tercer elemento fue decisivo, porque, al trazar una proyección tridimensional de los resultados, la estructura celular del universo resalta en sorprendente relieve.

Geller proyecta entonces otro mapa en la pantalla. Sus nuevas observaciones, dice, se llevaron a cabo en el telescopio reflector del Monte Hopkins, en el estado de Arizona. Este nuevo diagrama tiene forma de cuña, parece una porción grande de pizza. En realidad se trata de un plano de las posiciones galácticas en un sector tridimensional del universo, una zona de espacio de seis grados de grosor que abarca un tercio del cielo y penetra hasta cuatrocientos cincuenta millones de años luz cosmos adentro.

Aparecen en la pantalla alrededor de mil cien galaxias (véase la Figura 7), y su distribución no tiene nada de regular. Más bien se diría que están dispuestas en torno a las superficies de algo semejante a grandes agujeros o burbujas, gigantescos vacíos que horadan el espacio.

«Cuando vimos esto», dice Margaret Geller, «nos dimos cuenta de que estábamos recibiendo un mensaje del universo. Pero, claro, la cuestión era: ¿qué es lo que quiere decir?».

El proyector zumba y el auditorio mira fijamente durante un rato los agujeros que horadan el espacio.

«Hay muchos de estos vacíos», continua Geller, «los encontramos por todas partes. La incógnita evidente era: ¿por qué no los ha visto nadie antes?».

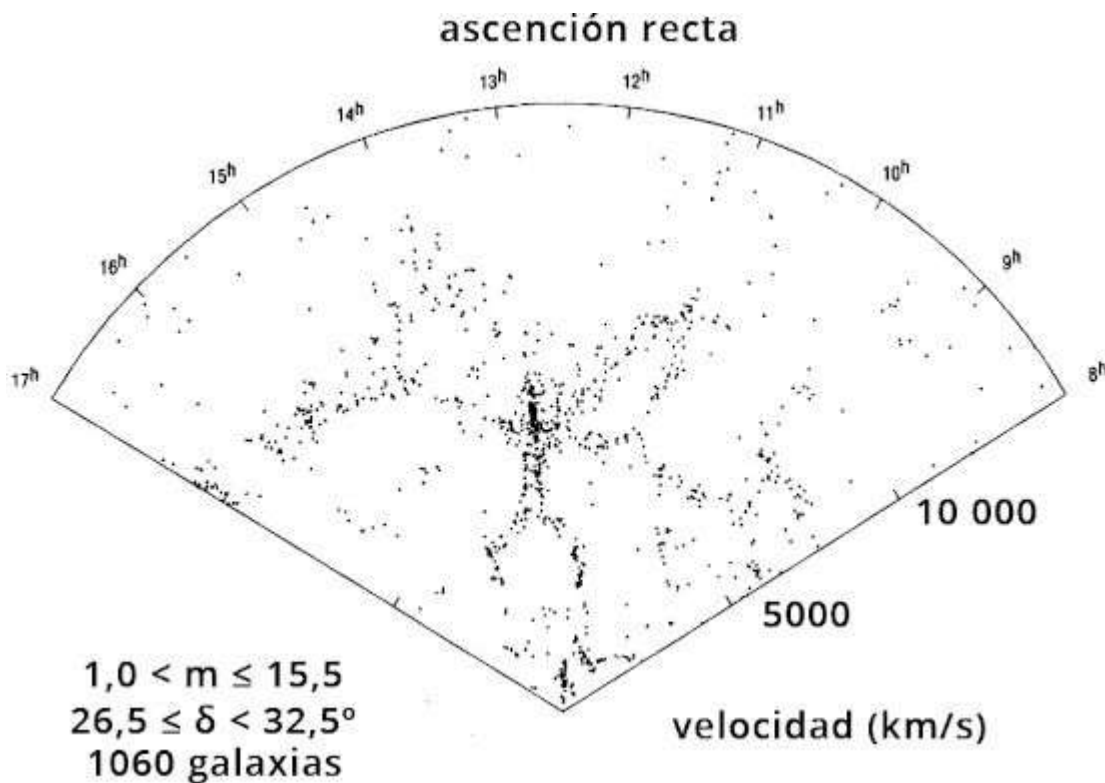
Aporta dos respuestas. Una, que los estudios anteriores no penetraron lo suficiente universo adentro; la segunda, que no midieron suficiente número de galaxias para que se viese por completo su disposición semejante a burbujas. Lo misterioso es, sin embargo, que en los datos anteriores ya se percibía una levísima huella de estas burbujas. Geller coge otra transparencia y la proyecta encima de la que muestra las burbujas. El nuevo mapa, cuyas galaxias están coloreadas en verde para que resalten bien, forma parte de un estudio anterior, llevado a cabo por Marc Davis y otros. Los puntos verdes son menos tupidos que la profusión de galaxias visible en el mapa tridimensional, pero no cabe duda de que los puntos verdes muestran el perfil fantasmal de burbujas cósmicas. Las pruebas están allí, sólo que hasta ahora no las había visto nadie.

Es evidente que el auditorio está pendiente de ella —los diagramas son realmente sorprendentes—, pero todavía queda lo mejor. El centro de astrofísica está financiado en parte por el Congreso, y Margaret y sus colaboradores hicieron, para una de las revisiones presupuestarias de la Smithsonian, una película en la que presentaban sus descubrimientos de manera tan gráfica que todo el mundo —congresistas incluidos— tendría que sentirse impresionado. Ahora proyecta esa película. Es corta, sólo dura un

minuto aproximadamente. No tiene sonido: las imágenes son lo bastante elocuentes por sí solas.

El proyector cobra vida en la pantalla y aparecen los créditos: «Smithsonian Astrophysical Observatory», seguidos por el título: «Burbujas en el Universo». Unos pocos del auditorio dan vítores y silban al leer esto.

El diagrama en forma de cuña que ya hemos visto aparece ahora en la pantalla en colores vivos: las galaxias se ven como puntos rosados y parecen flotar en un brillo semejante al del neón.



*Figura 7. «Rebanada tridimensional del universo».*

La rebanada de cielo en forma de cuña tiene ahora profundidad, porque lo que estamos viendo es una muestra informática de los



datos, proyectada en tres dimensiones. Y luego, todo el panorama, toda la rebanada de pizza, comienza a girar en torno a un eje, y el aspecto tridimensional del conjunto se vuelve absolutamente innegable. Es como si estuviéramos en el borde mismo del mundo, y mirando al interior del universo que da vueltas en torno a nosotros. Es una experiencia surrealista, pero esos agujeros como de queso de bola nos miran en la oscuridad. «El universo no es solamente más raro de lo que pensamos», escribió J. B. S. Haldane, «sino más raro de lo que *somos capaces* de suponer».

No cabe la menor duda. La rebanada del universo describe un giro completo y ahora el auditorio queda aturdido, poco menos que sin palabra.

Se encienden las luces.

Hasta Jim Peebles se ha convertido: «El estudio de Margaret», dice más tarde, «nos ha convencido a los últimos escépticos de que la distribución de las galaxias tiene un carácter semejante al de las burbujas».

Termina el espectáculo. Y termina otro día de trabajo en el extremo de la ciencia.

## Sección 8

### Llevando la antorcha

El universo que los astrónomos escudriñan es casi enteramente espacio vacío. Ésta es, naturalmente, la razón de que los astrónomos puedan ver tan hondo en su interior: no hay nada que les impida ver, de modo que sus telescopios pueden otear tranquilamente hasta el fin mismo del tiempo y el espacio. Pero la vista es muy parecida cuando se escudriña en el interior de la materia, porque la materia, a pesar de su aspecto sólido y denso, consta casi por completo de nada. Esto se entiende perfectamente si se tiene en cuenta que en un día claro en Alaska la visibilidad puede ser de hasta trescientos kilómetros o incluso más. Se puede ver a través de trescientos kilómetros de aire —es decir, a través de miles de millones de moléculas de nitrógeno, oxígeno, vapor de agua, y todo lo demás— y lo que se ve... es nada. El aire es menos denso que la materia sólida, naturalmente, pero también se puede ver a través de la materia sólida, como cuando se mira a través del cristal de una ventana, o se clava la mirada en un cubito de hielo o en un diamante. ¿Y a qué se debe eso? ¿Por qué se puede ver a través de cosas en bruto exactamente igual que si no existiesen? La respuesta es que los objetos materiales son, casi por completo..., vacío.

La materia, como todos sabemos, se compone de moléculas, y las moléculas se componen de átomos, minúsculos sistemas solares cuyos densos núcleos interiores están rodeados por nubes de electrones en órbita. Los electrones están muy alejados del núcleo

central del átomo, unas cien mil veces tan lejos del núcleo como la anchura del núcleo mismo. Como el volumen equivale al cubo del diámetro, el volumen del núcleo —el espacio que realmente ocupa— es inferior a una trillonésima parte ( $1/1.000.000.000$ ) del volumen del átomo entero. Pero esto no es más que otra manera de decir que los átomos son esencialmente nada estériles y hueros.

De la misma manera que los átomos son en su mayor parte espacio vacío, también lo son los objetos materiales —mesas, sillas, y todo lo demás— de que se compone el mundo en que vivimos. Si fuera posible extraer todo el vacío que contiene un objeto —exprimiéndoselo como el agua de una esponja— y comprimir sus partículas atómicas de modo que se tocasen como los granos de una mazorca, los objetos macroscópicos normales de nuestro mundo quedarían reducidos a su mínima expresión. La mayor parte de ellos se desvanecerían sin dejar huella: una pelota de béisbol se convertiría en un punto invisible, una persona quedaría del tamaño de un pulgón, un elefante se reduciría a menos de la materia atómica que cabe en un dedal.

La materia existente en los objetos físicos corrientes, las partículas atómicas de que se componen, está distribuida tan sutilmente que es como si esos objetos no tuvieran mayor densidad que una vaharada de humo. Y esto da lugar a un gran misterio: ¿por qué son las cosas de este mundo de aspecto, y al tacto, tan rígidas y sólidas? Se puede pasar a través de una vaharada de humo sin encontrar la menor resistencia, pero cuando se da un pisotón contra el suelo, las tablas reaccionan y resisten. Y cuando se sienta uno en la silla de la

cocina no se pasa a través del asiento, y del suelo, y así sucesivamente, hasta llegar a la superficie de la tierra, y atravesarla también..., la verdad es que, a la vista de todo ese espacio vacío, resulta misterioso que la materia oponga resistencia.

Y no es esto lo peor de todo. Si la materia está así de vacía, ¿por qué hay que tocar con los pies las tablas del suelo para que se hundan?, ¿por qué no se encoge el mundo entero, se aja y se deshace?

Lo que es válido para los grandes grupos de moléculas —como las que componen los objetos materiales de nuestra vida cotidiana—, también lo es para los *átomos individuales*, de modo que cualquiera podría preguntarse qué es lo que impide a los electrones y a los protones de los átomos separarse unos de otros. Protones y electrones tienen cargas opuestas, y las cargas opuestas se atraen, de modo que... ¿por qué no colapsan los átomos individuales?, ¿por qué no se disgregan y desaparecen? Ésta fue la cuestión que indujo a los físicos a inventar la mecánica cuántica a fines de la década de los veinte. El problema de la estabilidad del átomo llevó a Niels Bohr a exponer la idea de la cuantificación de las órbitas, y a Erwin Schrödinger a desarrollar la ecuación de ondas. Según la mecánica cuántica, la razón de que los átomos individuales no colapsan es que los electrones tienen órbitas mínimas o niveles de energía por debajo de los cuales no les es posible caer. En cuanto un átomo se encuentra en su estado fundamental —su nivel de energía más bajo— ya no puede seguir bajando, de modo que los átomos son automáticamente estables.

Por desgracia durante casi medio siglo no se concibió que, aunque esto salva la situación por lo que se refiere a los átomos individuales, sigue habiendo un problema en cuanto a los grandes grupos de átomos. El hecho de que los electrones de un átomo individual persistan en órbitas mínimas en torno al núcleo no garantiza por sí solo que cualquier conjunto de átomos seguirá siendo estable a lo largo del tiempo. Después de todo, siguen existiendo vastos espacios vacíos para que otros átomos caigan en ellos, y luego tenemos las fuerzas de atracción entre átomos —las fuerzas de Van der Waals— que los atraen entre sí. Las fuerzas de Van der Waals actúan de la misma forma que la gravedad, en la medida en que, al atraer más y más a los átomos entre sí, refuerzan constantemente las fuerzas existentes entre ellos, produciendo así concentraciones de átomos cada vez más densas, hasta que, ¡zas!, todo el conjunto implosiona como un agujero negro en el espacio.

Por lo menos éste fue, en términos generales, el guión que representaron dos físicos matemáticos, Michael Fisher y David Ruelle, al describir el problema en su artículo «The Stability of Many-Particle Systems», publicado en el *Journal of Mathematical Physics* en 1966. Después de examinar la cuestión desde todos los puntos de vista, llegaron a la conclusión de que no les era posible explicar la razón de que los objetos corrientes, cotidianos, no se deshicieran en el aire como el humo. Era algo completamente anómalo. La materia inerte se conserva en una especie de estado estable, avanzando silenciosamente de una manera que podríamos

calificar de metafísica, pero este hecho consumado y evidente, confirmado por la experiencia, era inaceptable para la física.

En Princeton, el físico teórico Andrew Lenard comenzó a trabajar en este problema cuando estaba adscrito al laboratorio de física de plasma de la universidad. A él le parecía que tenía que haber alguna manera para que los físicos entendiesen la estabilidad de la materia, alguna manera de *demostrar* que los objetos físicos no tienen por qué deshacerse en el aire. Debiera haber alguna manera de aplicar las leyes de la electrostática, pensaba, para demostrar que las diversas fuerzas eléctricas existentes entre grupos de moléculas se apoyan y se refuerzan unas a otras hasta anularse recíprocamente, de tal forma que los objetos materiales persisten a lo largo del tiempo sin venirse abajo como castillos de naipes. Lenard pensó y trabajó y calculó, pero no parecía sacar nada en limpio. Durante el año académico de 1965-1966, tomó un año sabático en el laboratorio de física de plasma y se fue a vivir al Instituto de Estudios Avanzados, donde tendría todo el tiempo necesario para pensar en la estabilidad de la materia.

En el Instituto, Lenard comenzó a darse cuenta de que la mecánica cuántica tendría que participar en sus trabajos de la forma que fuese, y recordó que Freeman Dyson, la estrella del lugar, el principal físico de partículas del Instituto, había escrito algo sobre la mecánica cuántica y las energías de las partículas atómicas. «Y así las cosas fui un buen día a verle y le pedí una separata del artículo», recuerda Andrew Lenard. «Me preguntó para qué lo necesitaba y le hablé del problema de la estabilidad de la materia. Esto despertó su

interés inmediatamente, y me preguntó si yo tenía inconveniente en que también él se pusiese a pensar en esto. Naturalmente le dije que no, que por mí podía hacerlo».

Lenard había dado con la persona idónea. El Instituto estaba lleno de físicos de partículas elementales de la especie más académica, es decir, gente que no sentía ningún deseo de relacionar sus entidades teóricas con el mundo real y tangible. Todos ellos eran eruditos en las partículas elementales más arcanas y exóticas, y podían explicar las cosas más innecesarias sobre la estructura hiperfina de un átomo mnómico, pero relacionar su mundo teórico y abstracto con el mundo de los objetos cotidianos era algo de lo que no tenían la menor experiencia, y para lo que apenas estaban preparados, en el mejor de los casos. Pero Freeman Dyson era otra cosa. Se sentía en el mundo cotidiano como en su casa, y no sólo en el universo de kaones y piones. Se le daba tan bien pensar en el diseño de reactores nucleares o en la construcción de una nave espacial como en los recovecos de la teoría cuántica. Y parecía igualmente familiarizado con los usos y costumbres de la materia a cualquier nivel, tanto macro como microscópico.

Esto fue una verdadera suerte para Andrew Lenard. A las pocas semanas de su conversación con Lenard ya Dyson había dado con la razón de que la materia no se desvanezca como el humo.

Freeman Dyson es, sin el menor género de dudas, el científico vivo más conocido del Instituto de Estudios Avanzados. Más aún, en estos años, que son relativamente flacos para el programa de física de partículas del Instituto, sin nuevos ganadores del premio Nobel

entre su profesorado ni nadie que le dé verdadero realce en el mundo científico, Dyson tiene una posición comparable a la de Einstein en los buenos tiempos pasados: da prestigio al Instituto, en lugar de ser al contrario, y el Instituto, por lo menos entre la gente de a pie, es conocido como el lugar donde trabaja Dyson. «Ah, ¿de modo que has estado en el Instituto?», pregunta la gente, «pues entonces tienes que conocer a Dyson».

Dyson ha sido siempre un personaje polémico, posiblemente incluso un poco notorio. A diferencia de sus otros *hermanos* del Instituto, no se mantiene fiel a una misma disciplina durante mucho tiempo; su mente tiende a otear el horizonte, como si en el mundo hubiera demasiadas cosas interesantes para que sea posible contentarse con una sola de ellas. Dyson no es *simplemente* un físico de partículas, aunque fue él quien, en la década de los cuarenta, unificó las tres teorías entonces vigentes sobre electrodinámica cuántica (QED). Y tampoco es un *simple* astrofísico, aunque ha escrito artículos sobre estrellas de neutrones, púlsars, dinámica galáctica teórica, y otras muchas cosas más. Ni es un simple matemático teórico, aunque se graduó en matemáticas por la Universidad de Cambridge. Dyson es todas esas cosas, y muchas más.

Freeman Dyson tiene probablemente la imaginación más fértil que ha pasado jamás por el Instituto. Sin excepción. Su mente hierve de ideas, planes, proyectos, y no sólo sobre partículas elementales, estrellas, galaxias, sino también sobre... *cualquier cosa*. Recordemos su plan de plantar árboles en los cometas y hacerlos girar en torno al sistema solar; o su idea de un telescopio reflectante con un espejo



de goma (que podía cambiar de forma para ajustarse a las distorsiones atmosféricas); o su proposición de reprogramar el ADN de las tortugas para que les crecieran dientes con punta de diamante. Grandes cantidades de estas tortugas con cuchillas de piedra preciosa en la boca podían ser distribuidas por las carreteras de Norteamérica para que comieran latas de conserva, botellas vacías y envoltorios de hamburguesas. Todo esto puede parecer algo disparatado, pero lo que no se puede negar, por mucho que se quiera, es que Freeman Dyson *es un hombre de ideas*.

Dyson tiene cierto sentido de la perspectiva sobre las cosas que se le ocurren, y cierto sentido del humor; se da cuenta de que son algo estrafalarias, pero esta tendencia de Dyson a lo estrafalario no es un vicio, sino una virtud: «¿Ha estado usted alguna vez en la Universidad de Cambridge?», preguntó una vez Dyson, «pues está llena de locos de atar: gente rara, solitarios siempre al borde de hacer algo realmente difícil e histórico. ¿Qué tiene de malo estar loco? La naturaleza está loca. A mí me gustaría que en el Instituto hubiera más locos de los que hay».

Freeman Dyson entró en el Instituto de Estudios Avanzados, lugar, por cierto, nada loco, y sí, en cambio, bastante convencional, en 1948, siendo director Oppenheimer. Volvió en 1950, y unos años más tarde Oppie le hizo profesor titular. Oppenheimer pensaba que Dyson era físico de partículas, es decir, una persona, como él mismo dijo, «con un futuro tan brillante como cualquier otro físico teórico», pero unos años después de ser nombrado profesor titular, Dyson pidió la excedencia y se fue. Sus sueños le llamaban..., la

locura le hacía señas desde el oeste..., y desde las estrellas. Y así es como Dyson fue a San Diego a cooperar en la construcción de una nave espacial. Era una nave espacial muy especial, naturalmente. Como que su combustible iba a consistir en bombas nucleares.

Los sueños de viajes espaciales de Dyson se remontaban a los días de su niñez en Inglaterra, donde se imaginaba viajando a otros planetas, pero de verdad, es decir, yendo a ellos en carne y hueso. La nave espacial de bombas nucleares, sin embargo, no había sido idea suya. Había surgido en la mente de Stan Ulam, el matemático polaco que pasó un curso en el Instituto, allá por los años treinta, dedicándose luego a otras cosas y acabando en Los Álamos durante los años de guerra. Seguía viviendo allí, y era, junto con John von Neumann y Edward Teller, uno de los inventores de la bomba de hidrógeno.

En torno a 1955, Ulam y su amigo C. J. Everett escribieron un artículo sobre una nave espacial movida por una sucesión de explosiones termonucleares. La nave penetraría en el espacio a fuerza de explosiones de bombas de hidrógeno, cabalgando a lomos de las ondas expansivas que éstas produjeran. Era como poner un petardo debajo de una lata de conservas y verla volar cielo arriba, pero un comité de la fuerza aérea norteamericana tomó la idea completamente en serio, y la Comisión de Energía Atómica llegó incluso a patentarla.

La iniciativa privada entró en la operación al decidir la General Dynamics Corporation instalar una filial en La Jolla, estado de California, a la que dio el nombre de General Atomic Laboratories.

General Atomic se dedicaba al negocio de la energía nuclear, pero en 1957, con las señales que llegaban del Sputnik desde el «espacio exterior», y con todo el mundo hablando ya de ir a la luna, la empresa pensó que iba a ser más sensato, desde el punto de vista económico, participar en la idea de la nave espacial movida por energía nuclear. Ted Taylor, un diseñador de Los Álamos que había creado ciertos curiosos mecanismos termonucleares, entró en la General Atomic y comenzó a pensar en la posibilidad de servirse de bombas termonucleares para conducir naves espaciales en torno al sistema solar. Puso a esta idea el nombre de Proyecto Orion, por la constelación del mismo nombre.

Taylor conocía a Dyson de la Universidad de Cornell, donde ambos habían sido discípulos de Hans Bethe, y le llamó al Instituto para preguntarle qué pensaba de la idea de ponerse también él en órbita a impulsos de bombas. «Parecía interesante», dijo Dyson más adelante, «y no me asustó. La reacción inmediata de todos fue que las explosiones harían añicos la nave espacial, pero eso a mí no me preocupaba, porque desde el punto de vista técnico la idea tenía sentido. Parecía que era lo que todos esperábamos».

¿Lo que todos esperábamos?

Dyson, por lo menos, sí había estado esperando una cosa de este tipo, de modo que pidió la excedencia en el Instituto y se trasladó a California con su familia. Corría el año 1958. El lema del Proyecto Orión era «En 1970, en Saturno».

Y no era un simple lema: todos los participantes tomaban su trabajo muy en serio, y durante algún tiempo Dyson llegó a pensar que iba

a hacer realmente ese viaje. Miraba por el telescopio que había en el patio trasero de Ted Taylor y se imaginaba a sí mismo deslizándose entre los anillos de Saturno y desembarcando sin dificultad en el satélite Encélado. En Encélado habría abundancia de agua, suficiente para instalar allí una granja hidropónica de vegetales.

La nave espacial en la que viajaría sería como un gigantesco bastón saltarín montado encima de una palanca impulsora. Las explosiones nucleares se dispararían debajo de ella, y, a medida que se produjeran, la palanca saldría disparada contra la nave, donde la fuerza de la explosión sería frenada por un complejo conjunto de amortiguadores de choque. La fuerza elevadora haría ascender la nave, que no tardaría en pasar junto a la luna y junto a Marte, y en dirigir su curso hacia el cinturón de asteroides.

Tal era, por lo menos, la idea. A ojos de cualquier persona serena y razonable, este esquema no es ni más ni menos que la idea del viaje espacial que pudiera ocurrírsele al tonto del pueblo, un poco más moderna que la de la novela de Julio Verne, consistente en disparar a la gente con destino a la luna desde un enorme cañón de circo. Lo sorprendente del caso, sin embargo, es que la idea del idiota del pueblo tenía todas las trazas de funcionar.

Y lo cierto es que *funcionó*, por lo menos en los ensayos que se hicieron a menor escala. Como es natural hubo fallos, pero éstos los hay hasta en el programa espacial oficial norteamericano que dirige la NASA. Las pruebas del Proyecto Orión tuvieron lugar a la altura de Point Loma, un promontorio que daba al Pacífico justo al oeste de San Diego. Ted Taylor, Freeman Dyson y su gente iban allá los

sábados por la mañana para ver su modelo de pruebas Orión elevarse cielo arriba y... saltar hecho añicos.

Al principio ni siquiera ocurrió eso. Las primeras pruebas se hicieron con un modelo funcional dotado de una palanca impulsora de un metro de anchura. La bomba explotó —se trataba de un explosivo químico corriente, no de una bomba de hidrógeno—, pero el modelo a escala siguió inmóvil. Las explosiones se sucedían debajo de él a una velocidad de 2 km/m ¡*Buuuum!*, ¡*buuum!*, ¡*buuum!*, pero la nave seguía tan tranquila, como si la cosa no fuera con ella. «Pienso que lo mejor va a ser suspender las pruebas», dijo Dyson entonces, «a menos que podamos conseguir una aceleración de más de una G». Je, je, je, je!

Era evidente que el cohete tenía que ser más ligero, de modo que, por lo menos, se moviera aunque sólo fuese un poco, y en vista de ello lo redujeron a lo más esencial, y probaron de nuevo. Volvieron otra vez a salir al promontorio los sábados por la mañana, pero esta vez con el modelo liviano, al que llamaron «Hot Rod».

«Hot Rod», por lo menos, se movía. Saltaba de la torre de lanzamiento, se iba derecho al cielo, y luego —¡*plaf!*— explotaba, se disgregaba en una nube de humo y caía sobre la tierra convertido en un millón de pedazos. Esto ocurrió varias veces.

En una ocasión Ted Taylor invitó al matemático Richard Courant a observar las pruebas de vuelo. Courant, uno de los grandes matemáticos de entonces, era de origen alemán. Había trabajado con David Hilbert en Göttingen, y era experto en ondas de choque. Courant llegó un sábado por la mañana a observar las pruebas. La

bomba explotó y «Hot Rod» se levantó de la torre de lanzamiento, y enseguida: ¡plaf!, se desintegró ante sus ojos.

«Esto», dijo Courant, con su acento alemán, «no es una tontería, esto es una supertontería».

Finalmente, sin embargo, los modelos Orion consiguieron volar — hasta unos pocos metros de altura—, pero para entonces Dyson se había ido ya de California y estaba de vuelta en el Instituto. Un día, en Princeton, recibió carta de los amigos que habían seguido con el proyecto. «Ojalá hubieras estado aquí con nosotros para disfrutar de los festejos de Point Loma, que tuvieron lugar el sábado pasado», decía la carta. «¡“Hot Rod” voló y VOLÓ y VOLÓ!, aunque todavía no sabemos hasta qué altura. Ted, que estaba en la cima del monte, calculó que alrededor de cien metros por triangulación visual. Hubo seis explosiones de gran fuerza y precisión... La caída fue exactamente en la cima, y descendió flotando sin ningún percance, justo delante del blocao».

Pero así es como terminó el proyecto de la nave espacial propulsada por bombas de hidrógeno. El gobierno norteamericano decidió utilizar cohetes químicos en lugar de nucleares para su programa espacial, y, más adelante, después del tratado de prohibición de pruebas nucleares de 1963, que ilegalizó las explosiones en la atmósfera y en el espacio, el Proyecto Orion quedó condenado para siempre al olvido. «Hot Rod», sin embargo, sobrevive. Se exhibe en el Museo Nacional del Aire y el Espacio, en Washington, donde cuelga de alambres, apuntando en dirección al Monumento de Washington.

Y además se conservan los fragmentos de aluminio. Dyson solía pasear en torno a Point Loma después de las pruebas recogiendo fragmentos de la nave espacial hecha añicos. Todavía tiene algunos de estos fragmentos en su mesa de trabajo del Instituto, en bolsitas de plástico transparente. Le recuerdan la época en que estuvo al borde mismo de viajar a las estrellas.

Cuando Lenard fue a ver a Dyson para hablar con él del problema de la estabilidad de la materia, Dyson se puso inmediatamente a pensar: «La clave de la cuestión», dice Dyson, «era que los átomos pueden ser sumamente complicados cuando están juntos en gran número. Hacen cosas de lo más extravagante y complejo. Como, por ejemplo, ser sólidos o líquidos, o pueden ser toda clase de sustancias químicas y explosivas inestables, o toda clase de cosas, del tipo que sea, y todo ello sin dejar de ser, pura y simplemente, átomos. Eso, átomos de lo más corriente. De modo que la cuestión era: ¿cómo es posible estar verdaderamente seguro de que, en vista del tipo de conducta de que es capaz la materia, un trozo de materia no se colapsará? Ése era el quid de la cuestión».

La solución no se les presentó enseguida de manera clara ni a Lenard, ni a Dyson, ni a nadie. El despacho de Lenard en el Instituto estaba al lado del de C. N. Yang, en el edificio D. Éste era el mismo Frank Yang que, con T. D. Lee, había ganado el premio Nobel de física por demostrar la no conservación de paridad en interacciones débiles. De vez en cuando, Yang y Lenard se encontraban por los pasillos del Instituto y se saludaban, pero

Lenard —el más joven de los dos— nunca se atrevió a entrar en el despacho de Yang y consultarle sus dudas.

Lo cual, desde luego, es raro, ya que uno de los principales objetivos del Instituto es precisamente que los jóvenes puedan estudiar y aprender junto a sus maestros, pero éste es un fenómeno que a veces brilla allí por su ausencia. El mismo Dyson, por ejemplo, no fue nunca a ver a Einstein o a Gödel. «Conocía a Gödel bastante bien en nuestra vida cotidiana, pero nunca me senté con él a discutir de asuntos filosóficos. Me sentía demasiado cohibido para hacer una cosa así. Y lo mismo me pasaba con Einstein. Nunca me acerqué a él y le dije: “Hola, Einstein, me gustaría hablar contigo”. ¿Por qué iba él a perder su tiempo conmigo, vamos a ver?, esta gente, evidentemente, tenía cosas más importantes que hacer que ponerse a hablar conmigo».

Por consiguiente fue una suerte para Andrew Lenard que un buen día Yang llamase a su puerta y le dijese que quería charlar con él. Yang quería saber lo que estaba haciendo Lenard, y entonces Lenard le habló del problema de la estabilidad de la materia. Yang pensó que la cosa era curiosa. «Muy interesante», dijo, «ese problema es, una de dos: o muy trivial o muy difícil». Total, que Yang vuelve a su despacho —pared por medio con el de Lenard— y Lenard comienza a oír *golpecitos* en el tabique. Se da cuenta de que es Frank Yang, escribiendo en su pizarra. Sigue así durante un rato: *tap, tap, tap*, la tiza contra la pizarra, y Lenard deja de pensar en el asunto.



Y, de pronto, cesan los golpecitos, como si el pobre hombre hubiera tenido un ataque cardíaco.

Unos minutos más tarde Yang asoma la cabeza por el despacho de Lenard. «Sí», le dice, «es difícil», y desaparece.

Tampoco para Dyson el problema era fácil. «Dedicó», recuerda Andrew Lenard, «cosa de un par de semanas a este problema, y luego volvió a verme y me dijo: “Mira, es un problema la mar de interesante, y podemos hacer esto y lo otro y lo de más allá, y podemos calcular esto y lo otro”. Tenía muchas ideas de lo más diverso, y yo me puse a desarrollar algunas de ellas».

Dyson y Lenard estaban en extremos opuestos del campus, pero sobre el despacho de Dyson había una sala de seminarios, y los dos solían reunirse allí unas horas al día para revisar lo que iban haciendo.

«En la sala de seminarios», dice Lenard, «había una gran pizarra, y allí no solía haber nadie más que nosotros, de modo que Dyson y yo usábamos la pizarra y él me daba explicaciones durante un rato, y luego yo le hacía preguntas sobre ciertos detalles. Algunos de sus argumentos no eran lo que se dice exactos, no eran rigurosos, pero él no hacía más que exponer nuevas ideas, muchísimas ideas. Los dos las examinábamos durante unas pocas horas, más o menos, y luego yo me iba a pensar en ellas con tranquilidad. La verdad es que adelanté poco, porque cuando empezaba a comprender bien lo que quería decir Dyson, volvía a arrollarme con nuevas ideas».

«De todas formas», prosigue Lenard, «había muchísimas dificultades técnicas, y la cosa siguió durante bastante tiempo —dos meses, más o menos—, hasta que, por fin, todo se aclaró».

Convencido de que Dyson había acabado por aclarar el problema, Lenard le aconsejó que publicase sus conclusiones, su explicación de por qué la materia no se desintegra como el humo. Dyson, sin embargo, insistió en que el artículo lo escribieran juntos. Para empezar, el problema había sido planteado por Lenard, y luego había que tener en cuenta el trabajo que Lenard le había dedicado. «Se mostró muy magnánimo», dice Lenard, «pero lo cierto es que las ideas eran de Dyson, sin el menor género de dudas».

Y ocurrió lo que suele ocurrir siempre que dos científicos, uno joven y otro veterano, escriben juntos un artículo de este tipo, que el joven escribió las ideas del veterano. El artículo, que tenía cuarenta hojas en manuscrito, se publicó en dos partes en el *Journal of Mathematical Physics*, en 1967-1968.

O sea, ¿por qué es estable la materia? «La respuesta», dice Dyson, «no es muy fácil de resumir. La prueba requiere ciertas sutiles tretas matemáticas. Pero en lo esencial se trata del principio de exclusión. La razón de que la materia se mantenga separada es que los electrones satisfacen siempre el principio de exclusión».

El principio de exclusión, formulado por Wolfgang Pauli, afirma que dos fermiones —una subclase de partículas elementales— no pueden ocupar nunca el mismo estado cuántico. Esta exclusión recíproca es lo que mantiene a los átomos separados y les impide caer unos en los espacios vacíos de otros. «Este resultado», dice

Dyson, «posiblemente nos da cierta comprensión filosófica de por qué Dios tuvo que inventar el principio de exclusión para poder crear un mundo compuesto de materia».

Por inteligente y llena de tretas técnicas que estuviera la prueba aportada por Dyson y Lenard, lo cierto es que pronto quedó desfasada. «No era el tipo de solución que ahora se consideraría elegante o razonable», dice Lenard; «aun cuando contenía muchas ideas inteligentes, el hecho es que estaban ensambladas de una manera que no resultaba muy natural para comprender la razón del funcionamiento de todo el asunto».

«La parte técnica ya no es válida en absoluto», dice Dyson, «más tarde fue formulada mucho mejor por Eliot Lieb y Walter Thirring. La idea es la misma, pero Lieb y Thirring mejoraron la parte matemática hasta el punto de resumir en cuatro páginas lo que a nosotros nos costó cuarenta».

El artículo Dyson-Lenard no era del tipo convencional que suele encontrarse en las revistas de física: era una explicación de algo que los físicos sabían desde hacía tiempo, o sea, que la materia es inherentemente estable. La mayor parte de los físicos de partículas de tipo convencional, entre tanto, estaban demasiado ocupados tratando de estudiar todas las partículas elementales nuevas, de las que hasta entonces ni siquiera se había oído hablar, y que llegaban a torrentes, partiendo de los ciclotrones como bolas de fuego de candelas romanas.

Todavía en la década de los treinta, los brillantes veteranos —como Einstein, Bohr y los demás— admitían un mundo compuesto

solamente de unas pocas entidades básicas: electrones, protones, neutrones y fotones, y esperaban con impaciencia el día en que podrían formular una teoría completa y consistente de todo el universo físico en términos de esas partículas solamente. Pero cuanto más profundamente observaban los físicos experimentales la sutil estructura de la materia, tanto mayor era el número de partículas que encontraban. Durante algún tiempo, el número de partículas siguió siendo lo bastante reducido como para poder recordarlas todas de memoria, hasta que llegó un día —a comienzos de la década de los sesenta— en que había ya tantas que las revistas y publicaciones de física comenzaron a dar listas completas de ellas distribuidas en tarjetas que podían recortarse y guardarse en el bolsillo. Hoy en día esas listas ya no son suficientes. *Review of Modern Physics* necesita un número entero para imprimir la lista completa de partículas, resonancias, y otros estados de la materia conocidos hasta ahora.

Teóricos y experimentalistas parecían lanzados a una carrera ininterrumpida para mantenerse al día ante la constante aparición de partículas nuevas. En raras ocasiones la teoría sacaba ventaja al experimento: los teóricos predecían, por ejemplo, que tenía que haber una partícula de tales y cuales características, y entonces los experimentalistas tenían que encontrarla con sus máquinas. En otras ocasiones, sin embargo, aparecían partículas que nadie había previsto. La reacción de I. I. Rabi en uno de estos casos —cuando apareció el mesón- $\mu$ — es muy significativa: «¿Quién fue el que encargó esto?». Pero querer estar al día en cuestión de partículas

era como lanzarse a una carrera contra la naturaleza, y los teóricos del Instituto seguían llevando el fuego sagrado como una sucesión de portadores de antorchas.

Casi todos los grandes teóricos de partículas pasaron en algún momento por el Instituto de Estudios Avanzados: Albert Einstein y Niels Bohr, naturalmente, pero también Max von Laue y I. I. Rabi. Más tarde les tocó el turno a los «jóvenes turcos»: Murray Gell-Mann, Hideki Yukawa, Sinitiro Tomonaga, Aage Bohr, Abdus Salam, Frank Yang, T. D. Lee, todos ellos premios Nobel. Junto a éstos estaban todos los demás artífices de la revolución de la física cuántica: George Uhlenbeck, Robert Mills, Freeman Dyson, Abraham Pais, John Wheeler, Frank Wilczek, Geoffrey Chew, Bruno Zumino, Yuval Ne'eman, Gabriele Veneziano, Yoichiro Nambu, Tullio Regge, Marshall Rosenbluth, y muchos más. Dos de los más grandes, y, sin duda, de los más extraños especialistas en partículas del Instituto, fueron P. A. M. Dirac y Wolfgang Pauli.

P. A. M. Dirac era el epítome del genio solitario, reticente como un monje. «Mi padre decidió que con él sólo podía hablar en francés», recordó en una ocasión. «Pensaba que sería buena cosa para mí aprender el francés de esa forma. Como me di cuenta de que no me era posible hacerme entender en francés, llegué a la conclusión de que sería mejor callarme que hablar inglés. Así es como empecé a ser una persona silenciosa».

Y al parecer siguió siendo silencioso durante el resto de su vida. Dos físicos de Berkeley estuvieron una vez con Dirac durante una hora entera mostrándole su trabajo con la esperanza de que un hombre

tan famoso les hiciera el honor de algún comentario crítico, pero fue en vano. Al cabo de la hora Dirac seguía en silencio. Como el silencio comenzaba a ser opresivo, Dirac, por fin, abrió la boca: «¿Dónde está el estanco?», preguntó y salió corriendo a comprar unos sellos. En otra ocasión le preguntaron a Dirac si le gustaba la novela *Crimen y castigo*, que había leído. «Está bien», replicó Dirac, resumiendo así la cosa con magistral concisión, «pero en uno de los capítulos el autor comete un error: hace que el sol salga dos veces en el mismo día».

Apartado del mundo de las cosas tangibles, Dirac se refugiaba en el mundo de las ecuaciones. «Buena parte de mi obra», dijo en cierta ocasión, «no es más que jugar con ecuaciones. Me imagino que esto no puede decirse de otros físicos. A mí me parece una cosa curiosa de mi carácter lo mucho que me gusta jugar con ecuaciones, simplemente buscar bellísimas relaciones matemáticas que a lo mejor no tienen ningún sentido físico. Lo que pasa es que hay veces que sí lo tienen».

Una de las ecuaciones que resultó tener sentido físico dio un resultado mucho más importante del que se pensaba. Ahora se llama «ecuación de Dirac», y abrió la puerta a un nuevo mundo de partículas que recibe el nombre colectivo de *antimateria*. La ecuación describía la conducta del electrón con exactitud casi perfecta, pero también predecía la existencia de un electrón de un tipo completamente nuevo, cuya carga era positiva.

Al principio Dirac pensó que su ecuación describía el protón de alguna manera indirecta, porque la carga eléctrica del protón es

opuesta a la del electrón, y, como él mismo dijo más tarde, «por entonces... todo el mundo estaba bastante seguro de que los protones y los electrones eran las únicas partículas elementales de la naturaleza». Pero la partícula de carga positiva que describía su ecuación no era un protón, porque la masa de un protón es casi dos mil veces mayor que la de un electrón. Si la ecuación de Dirac tenía algún sentido, éste era que existía en la naturaleza «un nuevo tipo de partícula, desconocida de la física experimental, y con la misma masa, pero la carga opuesta, del electrón». Dirac le dio el nombre de «antielectrón».

Año y medio después de que Dirac predijese su existencia, el «antielectrón» apareció en un experimento de cámara de ionización realizado por Cari D. Anderson, del Instituto Tecnológico de California. Anderson los llamó «electrones positivos»; hoy en día se llaman positrones. La ecuación de Dirac se aplicó al protón de la misma manera que el electrón, de modo que también sirvió para describir antiprotones, que —unos veinte años después de haber sido predichos— fueron descubiertos, como era de esperar, en el laboratorio. En realidad, la ecuación de Dirac dio lugar al nacimiento de todo un nuevo reino de antimateria, y los físicos tuvieron que darse mucha prisa para ponerse a la altura de los fenómenos que surgían ante ellos. «Pienso que el descubrimiento de la antimateria», dijo más tarde Werner Heisenberg, «fue probablemente el mayor salto hacia adelante de la física en nuestro siglo».

Dirac pasó su primer año en el Instituto en la década de los treinta, y luego volvió una vez por década, hasta la de los setenta, con lo que llegó a ser uno de los visitantes más regulares, por espaciadas que fuesen sus visitas. En Princeton vivía tan recluso en sí mismo como en otras partes, y tenía un cariño especial por los bosques del Instituto, en los que desaparecía al caer la tarde, hacha en mano, murmurando que quería abrirse una senda, es de suponer que a hachazos, hasta Trenton. Entre sus silencios y su tendencia a la soledad, Dirac era temperamentalmente un hombre del Instituto en el más pleno sentido de la expresión.

Con su preferencia por la teoría a expensas de la experimentación y su gusto por teorías que «tienen que tener gran belleza matemática», Dirac pertenecía también a la auténtica camada del Cielo Platónico. «Esas cosas se sienten muy profundamente», decía Dirac hacia el fin de su vida, «quiero decir que cuando un resultado experimental no está de acuerdo con las ideas de uno, se puede hacer quizá la predicción de que es el resultado experimental el que se equivoca, y pensar que los experimentalistas acabarán corrigiéndolo con el tiempo. Naturalmente, no hay que ser terco en estas cuestiones, pero a veces hay que ser audaz».

En términos de personalidad nunca hubo en el Instituto personaje más osado que Pauli. Pauli, que, físicamente, era más bien grandote, exudaba una energía nerviosa que se expresaba en movimientos heterodoxos y juegos de palabras ofensivos. Tenía la costumbre de mecerse sobre sus propios pies, al tiempo que movía la cabeza de un lado a otro, dando la impresión de que sus



músculos estaban, por así decirlo, demasiado tensos. Verbalmente Pauli era muy hábil en el arte de poner a la gente en su sitio con dos palabras. En una ocasión calificó a un físico oportunista de «muy joven, y ya casi desconocido». Si no le gustaba una teoría o una idea de alguien, decía: «Ni siquiera está equivocada». Hasta cuando decía algo bueno, que no era con mucha frecuencia, ponía buen cuidado en expresarlo de tal manera que más bien parecía una bofetada, como cuando, en un seminario que daba Einstein, Pauli —que entonces no era más que graduado universitario— se levantó y condescendió a decir: «La verdad, lo que está diciendo el profesor Einstein no es tan estúpido».

También tenía una infladísima idea de sí mismo como físico y quizá esta vanidad no tiene precedentes en toda la historia de la ciencia. Pauli se quejó una vez a Abraham Pais de que estaba costándole mucho encontrar un nuevo problema de física en el que trabajar. «Quizá», dijo, meciéndose sobre sus pies, «lo que pasa es que sé demasiado».

Solía dejar cortada a la gente en conferencias de física siempre que a juicio suyo no se expresaban con la suficiente claridad o corrección. Éste fue una vez el caso de Oppenheimer, en un seminario que tuvo lugar en Ann Arbor. Oppie estaba hablando y cubriendo la pizarra de ecuaciones, y Pauli se levantó de pronto de un salto, cogió un trapo y borró la pizarra entera, diciendo que todo aquello no eran más que tonterías. Pauli hizo esto dos veces más, y lo más probable es que hubiera continuado haciéndolo, pero

Hendrik Kramers intervino y le dijo que hiciera el favor de sentarse y estarse callado, y Pauli obedeció.

Esto ocurría en la década de los treinta. Pero veinte años más tarde, y ya en el Instituto, Pauli seguía siendo el mismo. Esta vez Oppenheimer estaba entre el auditorio, y el conferenciante era Frank Yang, que hablaba de la invariancia «gauge». Apenas empezó Yang a hablar cuando Pauli le interrumpió, preguntándole cuál era la masa de la partícula de la que se trataba. Yang respondió que era un problema complicado al que todavía no le había sido posible dar respuesta definitiva. «Eso», dijo Pauli, «no es excusa suficiente». Yang, verdadero modelo de corrección y reserva, quedó tan desconcertado que tuvo que sentarse para serenarse. Al día siguiente Pauli dejó una nota en el casillero de Yang: «Siento», decía la nota, «que me impidiera usted hablarle después del seminario».

La gente aguantaba esta tonta conducta porque Pauli, como es sabido, era un hombre brillante. Había dado con el «principio de exclusión», una de las bases de la nueva física, a los veinticuatro años. Y, como Dirac, Pauli añadió también algo nuevo a la lista de partículas elementales. La «partícula de Pauli», como fue llamada durante algún tiempo, resultó del análisis que hizo Pauli de la desintegración beta, una forma de radiactividad en la que el núcleo pierde un electrón. Por aquel entonces este fenómeno pasaba por ser muy misterioso. Por un lado, el núcleo no contiene ningún electrón, de modo que ¿cómo puede producirlos?, y, por el otro, los físicos no conseguían explicarse cómo podía perderse tanta energía durante el proceso de desintegración beta. Los productos de la

desintegración nuclear, llamados entonces «rayos beta», se llevaban, a juzgar por las observaciones, menos energía que el átomo mismo que se liberaba como consecuencia de ese proceso. ¿Qué ocurría, por tanto, con el resto de la energía?

El problema de la energía desaparecida era tan desconcertante que Niels Bohr, por ejemplo, llegó a estar dispuesto a renunciar al sacrosanto principio de la conservación de la energía: en las desintegraciones beta, afirmaba, era posible que la energía no se conservase. Pauli, sin embargo, tuvo una idea distinta. Se le ocurrió que la energía extra podría dispararse en forma de una partícula nueva nunca vista por los experimentalistas. Esa partícula no tendría ni masa ni carga; en cierto modo ni siquiera existiría. Actualmente ésta es la forma *ad hoc* que se toma como referencia para lidiar los fenómenos de este tipo: si uno se ve en una dificultad, ya se sabe, crea una partícula nueva. Pero entonces hasta el gran Pauli en persona se sintió demasiado violento durante algún tiempo como para publicar esta idea, aunque acabó haciendo acopio de valor.

A fin de cuentas resultó que Pauli tenía razón: su partícula «invisible» es el neutrino (Enrico Fermi aportó el nombre, que significa «pequeño neutrón»). Lo que realmente ocurre en la desintegración beta es que el neutrón, pura y simplemente, se desintegra, transformándose en otras cosas: en un protón, en un electrón, y en una diminuta partícula neutra que es el neutrino. Y precisamente por ser neutro, o sea, sin carga, y por ser tan pequeño, no fue posible ver experimentalmente al neutrino hasta

1956, aunque Pauli ya había tenido la idea en la década de los treinta; a lo largo del cuarto de siglo intermedio hubo mucha disquisición y mucha inquietud sobre lo que Oppenheimer llamaba «los fantasmas obsesivos de los neutrinos».

Pauli pasó los años de la guerra —de 1940 a 1946— en el Instituto de Estudios Avanzados, trabajando en el problema de los mesotrones, o «mesones», como se les llama hoy en día (a semejanza de la antimateria y el neutrino, los mesones son otro ejemplo de cómo los físicos se anticipan a la naturaleza. Su existencia fue propuesta por Yukawa en 1935, pero no pudieron ser observados en el laboratorio hasta más de una década después). Pauli, que era ante todo un teórico, se preguntaba si no debía ir a la guerra, como todos los demás del Instituto: aparte de él, Einstein era el único físico que no participaba de manera directa en alguna especie de trabajo bélico. Confió su inquietud a Oppenheimer, que estaba entonces en Los Álamos. Oppie le aconsejó que no se preocupase, para que, «cuando termine la guerra, haya en este país por lo menos una persona capaz de explicar lo que es un mesotrón».

En diciembre de 1945 Pauli recibió el premio Nobel por su concepto del principio de exclusión. En la cena que se dio en el Instituto para celebrarlo, Einstein —que le había propuesto para el premio— pronunció un discurso elogiando a su colega: y Pauli, por una vez en su vida, pudo permitirse el lujo de ser modesto.

Ya no quedan Paulis, ni Diracs, ni Einsteins, ni Oppenheimers, ni Bohrs en el Instituto de Estudios Avanzados. Los grandes veteranos han muerto, los premios Nobel se han ido y —a ojos de los de fuera

por lo menos— el programa de física de partículas del Instituto, tan importante en otros tiempos, se ha convertido en simple sombra de lo que era. «En la física de partículas», dice el premio Nobel de Harvard Sheldon Glashow, «es evidente que el Instituto ha decaído. Sus últimos fichajes permanentes en física de partículas fueron Adler y Dashen, hace veinte años. Una institución que no hace fichajes permanentes más que una vez cada veinte años está claro que se encuentra moribunda».

¿Le interesaba realmente a Glashow estar en el Instituto? «No me imagino allí, la verdad», dice él. «Por lo que veo, el mejor lugar del mundo para un físico es ahora la comarca de Cambridge».

Glashow no es el único que no llama con impaciencia a las puertas del Instituto. Hay una larga lista de gente que ha rehusado ofertas de nombramiento. «Es increíble lo larga que es esa lista», dice Freeman Dyson. Los grandes físicos parecen hacer ascos a ese centro, en parte porque no hay allí otros físicos de su talla. «No hay nadie en el Instituto que me induzca a pasar un año allí, ya me entiende usted», dice Michael Fisher, el físico de la Universidad de Cornell.

Pero si bien es cierto que el Instituto ya no rebosa de físicos de partículas, la generación joven sobrevive intacta en su recinto. «La principal ventaja del Instituto», dice Sheldon Glashow, «es que lleva a jóvenes de mucho talento a la comarca de Princeton, y éstos, junto con el grupo de gente consagrada —y más sana— de la universidad, llevan algún tiempo haciendo grandes cosas en física».

Como sus hermanos los astrofísicos, los físicos de partículas elementales del Instituto celebran con sus colegas de la universidad un seminario semanal a la hora del almuerzo. El aviso se pone en los tableros de anuncios:

**Universidad de Princeton - Instituto de Estudios Avanzados**

**SEMINARIO DEL MEDIODÍA DE LOS LUNES**

**Lunes, 21 de abril de 1986**

**«Los instantones y la super función beta de Yang y Mills»**

**Tim Morris**

**Instituto de Estudios Avanzados**

**Sala de Juntas, almuerzo a las 12.30 del mediodía, y**

**conferencia a las 13 horas.**

Hoy es el día, y ya es la hora: las doce y media del mediodía; hay alrededor de una docena de físicos de partículas en torno a una mesa de la sala de juntas, almorzando. Tim Morris está entre ellos, naturalmente, y, entre otros, Mark Mueller, y Corinne Manogue, la única mujer de este curso que es física de partículas. No hablan de física; en realidad la conversación versa sobre política: el bombardeo norteamericano a Libia, que había tenido lugar unos días antes.

«Las bombas son más baratas que los pollos», dice uno de ellos.

No queda claro lo que quiere decir con esto, pero todo el mundo ríe. Nadie defiende a Ronald Reagan.

De uno en uno o en pequeños grupos van llegando todos a la sala de juntas, con sus bandejas de comida. A las 12.50 ya parecen estar allí todos. Dos de los tres físicos de partículas del profesorado del

Instituto están también allí: Freeman Dyson y Stephen Adler; falta Roger Dashen. Hay algunos estudiantes graduados de la universidad y unos pocos profesores. La conversación ha vuelto a versar sobre ciencia, y se oye a gente decir cosas sobre compactificación en SU (3), y —como de costumbre— sobre ordenadores, sobre la posibilidad de disponer de turno en un Cyber 205, en el Cray de la Universidad de Illinois, y en un Cray XMP que hay en algún otro sitio.

Julián Bigelow llega a la una en punto, puntualísimo, es el mismo Bigelow que fue ingeniero en jefe del proyecto de ordenador electrónico del Instituto, en los buenos tiempos de Johnny von Neumann. Un poco desaliñado, con sus zapatillas rojas de baloncesto y su chaquetón de cuero azul con capucha, Bigelow se sienta en el centro de la primera fila y abre sobre su regazo una carpeta amarilla, como si fuera a tomar notas literales de todo cuanto allí se diga. Buena suerte.

Corinne Manogue se levanta de su silla, va a la parte delantera de la estancia y se apoya sobre el extremo de una de las mesas. Murmura unas pocas palabras —el ruido que allí reina se ha convertido en estrépito, la gente habla y ríe y golpea con las cucharillas los platillos de café—, nadie parece hacerle el menor caso. Corinne, a pesar de todo, presenta a Tim Morris a la concurrencia. Va al grano: el nombre y el tema de la charla, nada más.

«Nuestro orador de hoy», dice Corinne Manogue, «es Tim Morris, que hablará sobre el tema de los instantones y la superfunción beta de Yang y Mills».

No se sabe cómo, pero el hecho es que la gente la oye —o quizá sea simplemente que interpretan la presencia de una persona en pie en el otro extremo del cuarto como señal del comienzo—; todos van callándose y se ponen a mover las sillas para ver bien la pizarra.

La razón de esto es clara. En los almuerzos de astrofísica los oradores casi nunca utilizan la pizarra, por la excelente razón de que suelen hablar de *cosas del cielo* y no de ecuaciones. En la física de partículas, por el contrario, no hay nada de qué hablar, como no sea de ecuaciones. Es como si el objeto en sí —o sea, la partícula de que se trata— no *fuese* más que una fórmula, de modo que estos seminarios sólo pueden tratar de una cosa: *ecuaciones*. Tim Morris, el orador, ha venido bien equipado. Tiene en la mano algo así como veinte hojas de papel y todas parecen estar cubiertas de... *ecuaciones*.

Morris es un inglés pequeño, de pelo negro y cejas muy tupidas. Lleva jersey amarillo y pantalones marrones de pana. Los viajes de mil kilómetros se inician siempre con el primer paso, y Morris comienza su charla con una sola ecuación, corta, de una docena de símbolos más o menos. Esto es sólo para entrar en materia. Morris escribe la ecuación en la pizarra y la analiza símbolo a símbolo, identificando cada ingrediente y explicándolo: «... y esto, como ustedes saben muy bien, es el modo fermiónico conforme cero».

Y así prosigue, sin parar. Y el auditorio guarda el mayor silencio y escucha con gran atención; algunos toman notas, pero la mayor parte se limita a escuchar.



Morris escribe más ecuaciones, explicando las cosas según van surgiendo: «Las correcciones infinitas aparecen de tal forma que renormalizan la potencia de  $g$ ».

Y todo el mundo acepta esto sin inmutarse, como si se tratara del ABC de la física.

Morris escribe más ecuaciones, mientras habla de «teorías supersimétricas», instantones, supercampos... De pronto se produce una interrupción: una pregunta. Es un profesor de la Universidad de Princeton, que está en el fondo de la sala, y se nota en su voz cierto deje de desdén, una cierta inflexión de incredulidad, como diciendo: «Esto se pasa de la raya». «¿Cómo puede esperar usted soluciones interesantes», pregunta, «si no tiene en cuenta las transformadas de Legendre?».

Pero Tim Morris no se inmuta. Todo está previsto. «A menos que haya aquí algo que se me ha pasado inadvertido», dice Morris, «no veo la menor dificultad».

Y procede a explicar con toda calma la razón de que le sea posible esperar soluciones interesantes sin tener en cuenta las transformadas de Legendre. El que ha hecho la pregunta no parece demasiado convencido, pero deja pasar la cosa.

El seminario dura una hora entera. Las ecuaciones aparecen en la pizarra y desaparecen bajo el borrador; luego aparecen otras. Morris habla casi siempre mirando sus notas, pero de vez en cuando hace una pausa y da unos pasos atrás y resume lo que ha dicho hasta entonces. También de vez en cuando hace un dibujo, o algo que podría pasar por un dibujo si representase algo, pero se diría que es

un huevo escalfado, o, más bien, una burbuja o una ampolla informe.

Un poco después de las dos de la tarde Tim Morris escribe la última de sus treinta y cinco ecuaciones. Deja bruscamente de hablar, se vuelve a su auditorio y enarca una o dos pulgadas las gruesas cejas. Esto significa que ha llegado el fin, de modo que la gente aplaude, y bien fuerte, por cierto. Ni una sola persona se ha ido de la estancia durante todo este tiempo, ni siquiera en busca del postre. Los ojos de todos han estado fijos en las *ecuaciones* todo el rato, y ahora, como ya no hay más *ecuaciones* que absorber, y, al parecer, tampoco hay más preguntas, todos se levantan de pronto y se van apresuradamente.

Encuentro a Freeman Dyson en la escalera del edificio D al día siguiente.

—¿Qué te pareció nuestro pequeño seminario? —me pregunta—. Para mí fue como oír griego —le digo.

—Pues entonces quiere decir que entendiste tanto como yo —dice Dyson.

—Sí, bueno... Después de la charla fui a ver a Morris y hablé con él.

—Pues entonces —dice Dyson— lo entiendes mucho mejor que yo.

Tim Morris tiene veintiséis años. Fue a la Universidad de Cambridge y luego a la de Southampton, donde se graduó. Pasó allí tres años y después fue derecho al Instituto de Estudios Avanzados. Está en Estados Unidos con una beca Harkness, el mismo tipo de beca que tenía Freeman Dyson cuando llegó en 1947.

—El tal Harkness es un millonario que quiere que la gente venga aquí —dice Tim Morris— para que vean lo maravillosa que es Norteamérica.

—Bueno, y a ti ¿qué te parece?

—¡Estupenda! —contesta Morris—, ¡me encanta!

Tim Morris trabajó en las superteorías de Yang y Mills para su doctorado, y ahora es, más o menos, especialista mundial en ese tema. Cuando estaba escribiendo su tesis doctoral se interesó por la obra de ciertos físicos rusos sobre los instantones. El instantón, explica Tom Morris, es algo relacionado con el efecto túnel que tiene lugar entre dos configuraciones de campos de fuerza.

—Se llama instantón porque, en la práctica, esa cosa, el efecto túnel, ocurriría en el tiempo de un instante —dice—, así, sin más.

En un principio, Morris y su asesor de tesis, Douglas Ross, pensaron que podrían demostrar la exactitud del argumento de los rusos, pero terminaron demostrando justo lo contrario.

—La clave de mi seminario era realmente que intentamos demostrar que tenían razón, y a fin de cuentas lo que hicimos fue demostrar que no la tenían. Todo ese trabajo para acabar cavando su tumba.

Le pregunto si le ocurre con mucha frecuencia esto de obtener resultados negativos, trabajar en cosas que al final no salen como se esperaba.

—Los físicos teóricos —dice Tim Morris— gastamos mucha energía en quitarnos la razón unos a otros, o en tratar de refutarnos unos a otros, o de desarrollar teorías ajenas, aunque se trate de teorías sin nada que ver en absoluto con la naturaleza. Por ejemplo, la teoría de

que hablé hoy: bueno, pues no tiene nada que ver con la naturaleza porque es una teoría demasiado sencilla. Y la mayor parte de la física teórica que conocemos trata de teorías que los físicos *saben* perfectamente que no guardan relación alguna con la naturaleza. Por ejemplo, se ha gastado mucha energía en teorías bidimensionales. Mucha gente se ha dedicado a ellas. Pero nosotros no vivimos en dos dimensiones, sino en cuatro. De modo que ya me dirás para qué sirven.

Buena observación:

—¿Para qué sirven?

—Si lo que se quiere es ser cínico —dice Morris—, es cierto que la razón de que la gente se dedique a trabajar en dos dimensiones es que resulta *más fácil* que trabajar en cuatro. Y si un grupo de gente de un país determinado se pone a trabajar en teorías bidimensionales, otro grupo, en otro país, echará una ojeada a lo que hacen y comentará: «Bueno, se les ha olvidado esto», o: «Podrían haber hecho lo otro o lo de más allá», o: «En esto se han equivocado», o lo que sea, y en cuanto este proceso se pone en marcha empiezan a publicarse cientos de artículos sobre temas que no tienen nada que ver con la naturaleza como nosotros la conocemos.

—¿Piensas que la gente debiera dedicarse a trabajar en teorías que son correctas, en lugar de no hacer otra cosa que refutar las que no lo son?

—Pero es que *no tenemos* la verdadera teoría de la naturaleza —dice Morris—, y mientras no sepamos cuál es esa teoría es mejor

dedicarse a trabajar en todas las teorías imaginables por si alguna de ellas resultara de pronto que es la correcta. Posiblemente las teorías de campos bidimensionales sean un buen ejemplo de esto. Yo solía reírme de la gente que trabajaba en dos dimensiones, porque, a mi modo de ver, sólo lo hacían porque les resultaba fácil, pero de pronto se descubre la teoría de cuerdas y las cuerdas son superficies bidimensionales, de modo que, así, de pronto, resulta que todo eso de la teoría de campos en dos dimensiones tiene aplicación práctica. Ya ves, encaja.

Según Tim Morris también se puede decir lo mismo de la física de partículas, porque el campo es muy complejo.

—Es muy difícil formular una teoría de algo y tener razón, toda la razón. La teoría de lo que trata es de hacer que las cosas sean más sencillas de lo que realmente son. En los tiempos de Newton se conocían una, dos, tres partículas. En realidad hay miles de millones de partículas que interaccionan entre ellas. No es posible calcular una cosa así.

—Pero si las cosas son tan complejas, ¿cómo puedes tener tanta fe en la exactitud de tu teoría?

—Pues porque hay muchísima gente que está al acecho para echársete encima si te equivocas.

Nunca falta gente dispuesta a echársete encima si eres físico de partículas del Instituto. Para algunos, en realidad, el estudio de la física es una bendición a medias.

—Para los que buscan trabajo —dice uno de los miembros jóvenes del Instituto—, el Instituto tiene muchas ventajas. Primero, que está

cerca de la universidad, y eso, entre otras cosas, te permite estar en contacto con gente muy interesante. Pero también tiene desventajas: por ejemplo, que tienes que estar siempre a cien, y eso es desagradable. En la Universidad de Princeton debe ser peor que aquí, porque el Instituto, por lo menos, está bastante al margen.

—La verdad es que no te entiendo, ¿por qué hay que estar siempre a cien?

—Pues hay que estar a cien por causa de los de Princeton. Si no te pones a su altura, los de Princeton te hacen trizas.

—¿Pero es que no quieres la mejor crítica posible?

—Sí, claro, pero hay cierta diferencia entre que le critiquen a uno y que le hagan trizas, vamos, añicos, en los seminarios. Y ha ocurrido, de verdad. Y lo hacen para demostrar su poder, para hacerte ver lo estupendos que ellos son. Tim Morris tuvo suerte en su seminario, porque no le hicieron pedazos ni nada, aunque yo pensé que iban a acabar con él. La buena gente de Princeton tiene fama de hacer trizas a los físicos de segunda.

Le pregunto si el Instituto está siendo dominado por su vecino.

—En este preciso momento —dice él—, no creo que el Instituto esté haciendo nada ni la mitad de lo bien de lo que solía hacerlo. Y no debiera ser así. La Universidad de Princeton no tiene por qué ser la estrella más brillante, mientras nosotros no somos más que una sombra a su lado. Es una pena que los miembros permanentes de aquí... Bueno, todo el mundo acaba gastándose tarde o temprano, de modo que esto no lo digo como crítica, pero la verdad es que los miembros permanentes de aquí parece que se han gastado. Y el

Instituto mismo, qué quieres, no sé qué es lo que están pensando. Su política parece haber errado un poco el blanco. Han estado esperando la llegada de una estrella de demasiada magnitud, me imagino, y, como consecuencia de esto, pues se han quedado sin nadie. Aquí ya no hay grandes luminarias, y esto sí que es una lástima.

La última luminaria del Instituto se apagó con la muerte de Oppenheimer. Oppie era de tamaño mayor que el natural, incluso en el mundillo académico. Ya no hay nadie en el Instituto que sea capaz de deslumbrar, aunque habría podido haber, a poco que lo hubieran buscado. Durante algún tiempo, después de irse Oppie, se habló de que Murray Gell-Mann podría ser nombrado director. Gell-Mann es deslumbrante: un premio Nobel, sorprendentemente elegante, y nada reticente o retraído. Oppie mismo eligió a su sucesor: Frank Yang, pero Frank Yang rehusó la oferta, y cuando, en 1956, Oppenheimer anunció que al año siguiente se retiraba, el Instituto decidió que había llegado el momento de hacer arqueo. Llevaba ya treinta y cinco años de existencia, con un físico como director durante los dieciocho últimos, de modo que a lo mejor no era buena idea nombrar como sucesor suyo a otro físico.

La junta de administración del Instituto seleccionó a unos pocos de sus propios miembros para crear con ellos un comité que estudiase el porvenir del Instituto. Después de seis meses de trabajo, el comité decidió que había llegado el momento de emprender nuevos rumbos..., es decir, justo lo que el profesorado había temido siempre. Les espantaba el cambio, y por buenas razones, porque

cuando las cosas son perfectas, como tiene que ser forzosamente en el Cielo Platónico de los Sabios, cualquier cambio que se produzca ha de ser a peor. La junta de administración del Instituto, en reunión plenaria, aceptó la recomendación del comité de que el Instituto debiera participar en los problemas de la sociedad contemporánea, por lo cual nombraron director a Cari Kaysen, convencidos de que se mostraría a la altura de las circunstancias.

Nacido en Filadelfia en 1920, Kaysen se graduó en Harvard y luego entró en la administración pública. Trabajó para McGeorge Bundy en la Casa Blanca de Kennedy, fue a la India con Averell Harriman, y luego a Moscú para dedicarse al Tratado de Prohibición de Pruebas Atómicas Limitadas. A ojos de los veteranos del Instituto, sin embargo, ninguna de esas cosas cambiaban la idea de que Cari Kaysen no estaba hecho para el Instituto. En primer lugar, era economista, y la economía no es lo que se suele llamar «ciencia», excepto estirando mucho el significado de esta palabra. De todas formas, la economía era una disciplina demasiado metida en la sucia realidad empírica para poder ser bien recibida en el Instituto (el propio Oppenheimer, al comienzo de su período de dirección, había fusionado el malhadado Departamento de Economía de Flexner con el de Estudios Humanísticos). Y luego también había que tener en cuenta la cuestión de los libros de Kaysen: *United States v. United Shoe Machinery Corporation: an Economic Analysis of an Anti-Trust Case* (Los Estados Unidos contra la corporación unida de maquinaria de fabricación de zapatos: análisis económico de un caso antitrust) (1956); *The American Business Creed* (La



profesión de fe en el mundo de los negocios norteamericano) (1956); *Anti-Trust Policy* (Política antitrust) (1959); *The Demand for Electricity in the United States* (Demanda de electricidad en los Estados Unidos) (1962). Los veteranos del Instituto echaron una ojeada a estos títulos y comenzaron a preocuparse. Como dijo André Weil: «Tengo entendido que escribió su tesis sobre una fábrica de zapatos».

A pesar de todo Kaysen fue nombrado cuarto director del Instituto en 1966. Al principio se llevó bastante bien con el profesorado. Los físicos habían ido yéndose uno a uno, de modo que Kaysen contrató a cuatro como sustitutos: los físicos de partículas Stephen Adler y Roger Dashen, el físico de plasmas Marshall Rosenbluth, y el astrofísico John Bahcall. Kaysen puso también en marcha sus planes de crear un Departamento de Ciencias Sociales y no encontró oposición cuando nombró para él al antropólogo Clifford Geertz, doctorado en Harvard y autor de cinco libros.

Dos años después, sin embargo, el mundo se derrumbó sobre Cari Kaysen. Nombró profesor titular a Robert N. Bellah. Bellah era sociólogo, y a los veteranos del Instituto —sobre todo los matemáticos— la sociología les resultaba sumamente irritante. Los matemáticos viven en un mundo de verdad eterna y perfección impecable..., cualidades que no son precisamente las de los que se dedican a la sociología. «Muchos de nosotros comenzamos a leer las inútiles obras del señor Bellah», confesó el matemático André Weil; «ya he visto bastantes candidatos que no estaban a la altura, pero la verdad es que nunca tuve tal sensación de estar perdiendo el

tiempo». Pero el desprecio por Bellah no se limitaba a los matemáticos. Harold Cherniss, classicista y filósofo, observó que «estaba claro como la luz del día que Bellah no tenía el calibre intelectual y académico de un profesor del Instituto».

Bellah había escrito un libro bastante voluminoso sobre la religión tokugawa, y reunido algunos de sus ensayos más personales y menos eruditos en un volumen titulado *Beyond Belief*. A ojos de los veteranos del Instituto el título de este libro, que puede traducirse por «Increíble», describía perfectamente su texto. Para ellos la actitud extremadamente apasionada de Bellah ante las cosas era como un chorro de aire helado, y en la reunión del profesorado que examinó su nombramiento los viejos conservadores del Instituto votaron contra Bellah en una proporción de trece contra ocho, con tres abstenciones. Kaysen dijo que iba a nombrarle de todas formas. Esto, para los profesores del Instituto, fue el final. No sólo rechazarían a Bellah, sino que, de paso, se quitarían de encima al mismo Cari Kaysen.

Y éste fue el comienzo del Motín Número Tres del profesorado.

De todas las rebeliones de que ha sido escenario el Instituto de Estudios Avanzados, ésta fue, con mucho, la más seria. Fue un escándalo de grandes proporciones, que llegó incluso a salir publicado en las páginas del *New York Times*.

«No tenemos confianza en el buen juicio, la equidad o la palabra de Kaysen», dicen que afirmó Deane Montgomery. «Es fundamentalmente un político sin el menor interés o aprecio por los estudios avanzados. Lo que él busca es poder, pero carece de la

integridad moral o la capacidad intelectual para servirse de él con prudencia».

(Otros, entretanto, se preguntaban qué podía haberle pasado a Deane Montgomery, que se había opuesto a Oppenheimer y se oponía ahora a Kaysen. «Siempre pensé que Deane Montgomery era un hombre estupendo», dijo uno de los miembros del Instituto, «pero en el Instituto, no se sabe por qué, se ha comportado como un ogro, siempre está tratando de comerse vivo a los directores»).

«La utilidad de Kaysen como director ya ha terminado, y cuanto antes se dé cuenta él mismo, tanto mejor para todos», parece ser que dijo el matemático Armand Borel. «Diecisiete personas del Instituto han perdido confianza en el director. Es absurdo esperar que el Instituto pueda funcionar en tales circunstancias. Nuestra falta de confianza es de tal calibre que no vemos la menor utilidad en llegar a ningún acuerdo con el doctor Kaysen, ya que podría saltárselo a la torera en cuanto le viniera en gana».

(¿Por qué eran los *matemáticos* los que fomentaban todo este jaleo? Uno de los miembros del Instituto lo explica así: «Ya sabes lo que se dice de los matemáticos, que todo lo que normalmente a cualquiera le llevaría toda una jornada, ellos lo hacen en unas pocas horas por la mañana, y así el resto del día pueden dedicarse a meterse con la gente»).

Kaysen, sin embargo, decidió aguantar, por lo menos durante algún tiempo. «Tengo la intención de permanecer y de ser útil mientras pueda serlo», dijo en 1973. Al fin y al cabo tenía partidarios entre el profesorado, y no sólo en la persona de Clifford Geertz, a quien él

mismo había contratado. Freeman Dyson, por ejemplo, pensaba entonces, y sigue pensado ahora, que Cari Kaysen fue el mejor director que ha tenido el Instituto. «No tenía miedo a nadie», dice Dyson, «iba por todas partes haciendo preguntas difíciles y violentas, como por ejemplo: *¿No puede este sitio dar más de sí?* Nos ponía a todos en constante estado de actividad».

Pero dos años después Cari Kaysen renunció al puesto de director y se fue del Instituto. En una carta dirigida a los profesores, decía: «Diez años de administración e iniciativa académica son suficientes, quiero pasar los próximos diez o veinte años en un ambiente más agradable».

Ocurrió que al matemático André Weil, uno de los más acérrimos enemigos de Kaysen, le llegaba la edad del retiro precisamente en el último día de dirección de éste. «Cuando se acercaba el día de mi jubilación», dice Weil, «pensé pedir a la junta de administración un aplazamiento especial, de veinticuatro horas solamente, para poder disfrutar de un día sin Kaysen en el Instituto». Finalmente Weil no pidió esa prórroga, y, entretanto, Robert Bellah, que había pasado un año en el Instituto como miembro interino, se fue también para volver a su puesto de la Universidad de California, con lo que su nombramiento dejó de ser posible.

Y así es como terminó la tercera rebelión de los profesores del Instituto.

Sean cuales fueren los errores de juicio de Kaysen en el caso de Bellah, todos los que pasaron después por el Instituto debieran estar silenciosamente agradecidos porque gracias a él esta

institución entró de lleno en el siglo XX, de manera más física, tangible, que intelectualmente. Abraham Flexner tenía la idea de que lo principal es la gente, y que los edificios y su entorno son cosa secundaria. «Cerebros, no ladrillos», era su lema, y su fidelidad a él se veía en las estructuras, agresivamente utilitarias, que mandó construir en el terreno del Instituto. Como buen platónico que era, Flexner no parecía sentir mucho interés por mejorar la vida espiritual de los «trabajadores» del Instituto mejorando el aspecto físico de su medio ambiente. Cari Kaysen, en cambio, no era tan acérrimamente platónico.

«La piedra de toque final del mundo intelectual es estética», escribió una vez Kaysen. «Conceptos como originalidad, profundidad y elegancia se utilizan ahora positivamente para designar el trabajo intelectual. Por lo tanto es propio del Instituto buscar la belleza además de la utilidad en los edificios donde se desarrollan sus actividades, y encarnar esa belleza visualmente».

En consecuencia, Kaysen consiguió reunir ocho millones de dólares para el Instituto durante su etapa de director, organizó un fondo de construcción y levantó un edificio de despachos y un comedor nuevos. El comedor antiguo solía estar tan lleno que la gente tenía que comer a toda prisa para dejar libres sus asientos, lo cual no facilitaba, ciertamente, el intercambio de ideas durante las comidas. Los nuevos edificios, por el contrario, daban al Instituto una sensación de paz, espacio y armonía; Kaysen no andaba descaminado cuando escribió en un informe a los administradores: «Todos se han beneficiado de la sensación de orden y formalidad

que dan (los nuevos edificios). No todos se han dado cuenta de la causa de su nuevo bienestar, pero casi todos lo han sentido». Era elogiarse a sí mismo, pero no sin razón.

Los enemigos de Kaysen no tuvieron nada de esto en cuenta, sino que criticaron ásperamente los nuevos edificios, a pesar de que incluso habían ganado premios, diciendo que eran los más caros de todo el país. Pero también es verdad que, a ojos de esa gente, Cari Kaysen no podía hacer nada a derechas.

Diez años después de la partida de Kaysen como director del Instituto, los edificios que él construyó siguen siendo las joyas del campus, y el Departamento de Ciencias Sociales es pequeño, pero próspero. El programa de física de partículas del Instituto, por el contrario, aunque está a rebosar de interinos jóvenes, trata aún de recuperar parte de su gloria perdida. Hay sitio sobrado allí para un Dirac, un Pauli, un Oppenheimer.

## Sección 9

### La verdad sobre las cosas

El buen científico no es humilde. Bueno, claro que, como persona, puede ser muy tímido, o quizá manso y reticente y poco amigo de publicidad, y socialmente un cero a la izquierda —por ejemplo, Kurt Gödel—, pero no puede permitirse el lujo de ser intelectualmente tímido o timorato sobre su propia capacidad científica. Al contrario, tiene que ser audaz, arrogante, incluso algo temerario. Porque al buen científico le es esencial creer que con sólo aplicar su mente a los datos que aporta la experiencia podrá descubrir la verdad —o por lo menos una pequeña parte de ella— sobre la naturaleza y su funcionamiento.

Hay científicos del Instituto que han contemplado —con su ojo mental, en sus ecuaciones, en sus datos— tanto las mayores como las más pequeñas estructuras del universo, cúmulos de galaxias en un extremo y en el otro, distancias increíblemente pequeñas, como, por ejemplo, de  $10^{-129}$  cm. Un miembro del Instituto llegó al extremo de programar una simulación de ordenador de todo el universo físico. Esto sí que es arrogancia.

Ciertamente, cuando se para uno a pensar en estas cosas resulta desconcertante que puedan ser verdad. ¿Cómo es posible conocer los extremos de la creación? ¿Cómo puede ser que los científicos, que, después de todo, no son más que seres humanos corrientes, puedan contemplar lo incomprensiblemente grande al tiempo que lo absurdamente pequeño, y sacar de esa contemplación algo que

pueda ser calificado de conocimiento? Parece un pequeño milagro que un grupo de seres humanos pueda liberarse, de la manera que sea, de su propia finitud física, de su cuerpo, y, por medio del pensamiento abstracto, entrar en contacto íntimo con los más lejanos antípodas de lo grande y lo pequeño. Incluso hay científicos que piensan así.

John Bahcall, el más veterano astrofísico del Instituto, dio en una ocasión una charla en el colegio universitario de Vassar sobre el problema de los neutrinos solares. Una de las preguntas que le hicieron fue sobre la vigencia actual de la teoría del universo oscilante, según la cual el cosmos acabará colapsando y convirtiéndose en una bola de fuego primigenia semejante a aquella de la que deriva, y que, entonces, explotará de nuevo, dando lugar a otro «Big Bang», con lo que este ciclo de contracciones y expansiones continuará eternamente. La cuestión era si los astrónomos seguían aceptando esta idea.

Bahcall citó una frase que llevaba en un adhesivo en su coche: «El Big Bang es un mito que hay que explotar», decía. Y a continuación desconcertó a su auditorio con lo que, para un astrofísico, era una afirmación bastante extraña:

«Yo, personalmente, creo que es presuntuoso pensar que el hombre puede determinar toda la estructura temporal del universo, su evolución, su desarrollo y su destino final a partir del primer nanosegundo de la creación y hasta los últimos  $10^{10}$  años basándose solamente en tres o cuatro datos que no se conocen de manera muy exacta y que, además, son materia de disputa entre los



especialistas. Esto, me parece a mí, es casi inmodesto, por no decir indecente».

¿Cómo se entiende? ¿Un astrofísico hablando mal de la presunción? ¿Un maestro de la disciplina para la que años luz y megapársecs son cosa de todos los días, en la que los estudiantes utilizan habitualmente pequeños signos de +, o, peor todavía, puntitos, para representar galaxias enteras, diciendo ahí, de pronto, que arrogarse el conocimiento de estas cosas es, en cierto modo..., de *mala educación*?

Pero Bahcall pasó a explicar lo que quería decir. Pensemos en las antiguas cosmologías griegas, dijo. Recordemos que solían afirmar que el universo era una pelota en la espalda de una tortuga. Probablemente dentro de cien años futuros científicos observarán los modelos cosmológicos del siglo XX y moverán la cabeza con regocijo e incredulidad.

«Ésta es la razón», afirmó Bahcall, «de que no tome muy en serio esos modelos. Ello no quiere decir que no publique artículos basados en ellos, lo que quiero decir es que tiendo a considerarlos más o menos de la misma manera que ahora consideraría la teología de Newton. O sea, un interesante ejercicio intelectual, pero nada del otro jueves».

Bahcall había puesto el dedo en uno de los grandes acertijos por resolver de la ciencia contemporánea, el problema de la verdad científica. A saber: ¿Adónde nos llevará a fin de cuentas todo ese pensamiento y toda esa teorización y todos esos cálculos? ¿Cuál será el resultado final de todas nuestras observaciones,

cuantificaciones, simulaciones por ordenador y todo lo demás? ¿Acaso la ciencia desnuda (como se nos enseñaba de niños) las realidades de la naturaleza? ¿Nos dice acaso la *verdad* sobre las cosas? ¿O nos da algo mucho menos excelso y pretencioso, algo del orden de las «hipótesis provisionales», las «interpretaciones adecuadas», las «líneas maestras eurísticas», y cosas por el estilo? La cuestión es de gran importancia. El Instituto de Estudios Avanzados funciona con un presupuesto que sobrepasa por mucho los diez millones de dólares al año, y en Estados Unidos en general la investigación científica se sufraga con muchos miles de millones, tanto particulares como estatales. ¿Y qué es lo que se consigue con todo ese dinero? ¿Conseguimos por lo menos a cambio de él parte de *la verdad*, o gastamos esas fortunas para aprender cosas que son —al menos por lo que se refiere a la verdad final— poco mejores que la teología newtoniana o que la idea de que la creación descansa sobre la concha de una tortuga?

«Muchos científicos no se preocupan nunca de estas cosas», dice John Bahcall, «no son cuestiones que afecten a su investigación o a su temperamento».

Pero si, a pesar de todo, se *pregunta* sobre esas cuestiones a los científicos del Instituto, si se les pregunta a bocajarro si sus teorías les acercan a la verdad o solamente a un mito práctico, lo curioso es que muchos de ellos no saben qué contestar. Algunos, naturalmente, insisten en que el único objeto de su trabajo es aprender, pura y simplemente, la verdad. Por ejemplo el físico del

Instituto Stephen Wolfram dice: «Quiero saber la verdad, por muy pervertido que esto pueda parecer».

Con bastante frecuencia, sin embargo, lo que se obtiene es una respuesta de dos fases, algo así como: «¿Que si pienso que mi explicación de por qué es achatada por los polos esa galaxia es la explicación *verdadera*? Bueno, pues yo diría que sí. Sin duda... Pero, claro, hay que tener en cuenta que todo esto es puramente provisional. Y por lo que se refiere a la “verdad final”, bueno..., pienso que ni siquiera sabemos lo que eso quiere decir».

Y lo mismo ocurre con el físico de partículas del Instituto Steve Adler: «Yo diría que sí conseguimos conocimiento, pero no que lo que conseguimos sea la respuesta final. En fin, lo que se deduce son teorías que funcionan dentro de un cierto marco de validez. Depende de si, al decir conocimiento, se refiere usted al conocimiento absoluto..., ya me entiende, a la respuesta final, o más bien al acercamiento relativo a lo que resultará ser la realidad final. Por lo menos tenemos reglas que nos permiten calcular lo que ocurre en situaciones experimentales bastante complicadas».

Y también Ed Witten, uno de los inventores de la teoría de supercuerdas: «Bueno, lleguemos o no lleguemos a la verdad, lo cierto es que aprendemos cosas duraderas. La idea de que las teorías antiguas quedan desbancadas es errónea. Aprendemos cosas nuevas. Desarrollamos leyes más fuertes, leyes que unifican principios y nos dan descripciones más exactas de fenómenos cada vez más numerosos. Esto no quiere decir que las teorías antiguas estén equivocadas. Es, simplemente, que estaban incompletas».

¿Pero piensa acaso Witten que la teoría de supercuerdas, por poner un ejemplo, es *correcta*, es decir, que es la palabra final sobre la naturaleza?

«Sí. Y cuando digo que es correcta lo que quiero decir es que... puede resultar ser la teoría final, la teoría completa de la naturaleza. Pero cuando dije que era “correcta” quise decir simplemente que es un indudable paso hacia adelante».

John Bahcall tiene una explicación para todo este titubeo: «Hay que distinguir entre nuestra manera de hablar y nuestra manera de pensar cuando reflexionamos sobre ello. Los científicos usan, para hablar, una taquigrafía que deja implícitas una serie de cosas que se dan por sabidas. Es posible que hablemos como si nos interesara “la verdad”, pero de ordinario esto no es más que una abreviación taquigráfica de algo así como “descripción útil” o “aproximación mejor”».

Será cierto que los propios científicos no se angustian por si su trabajo les pone o no en contacto con la verdad de las cosas, pero también lo es que ciertos miembros del Instituto han pasado la mayor parte de sus vidas profesionales no haciendo nada más que eso. Me refiero a los humanistas, sobre todo a los filósofos, y, más específicamente aún, a los filósofos de la ciencia. La cuestión candente en filosofía de la ciencia durante estos últimos años ha sido si la ciencia nos brinda un conocimiento verdadero y auténtico, o, en caso contrario, qué es lo que nos brinda. Como es natural, hay dos puntos de vista principales sobre esto. Un grupo examina la historia de la ciencia y, como John Bahcall, ve las teorías cayendo

unas a manos de otras: la teoría de la bola girando en la concha de una tortuga desfasada por la teoría geocéntrica, la cual, a su vez, cede el puesto a la teoría heliocéntrica, y así sucesivamente. La conclusión, en este caso, es que la ciencia no ofrece la verdad sino, simplemente, una sucesión de distintas interpretaciones. Algunas interpretaciones pueden ser mejores que otras para ciertos objetivos específicos —por ejemplo, la astrofísica reciente viene muy a propósito cuando se trata de aterrizar suavemente en la luna—, pero no hay ninguna teoría de la que pueda decirse que es inequívocamente verdad y exacta en el sentido estricto o final de estos términos.

La otra parte de esta disputa está bien impuesta de los mismos datos históricos, pero saca de ellos una conclusión distinta. Para ellos lo que ocurre es que teorías primitivas están siendo desplazadas por otras más complejas, y aseguran que algunas de esas teorías han *llegado*, ciertamente, a una verdad final sobre la naturaleza. El mundo no gira en una concha de tortuga, la tierra no está en el centro de la galaxia, pero el sol sí que está en el centro del sistema solar. O sea, dicho de otra forma, hay una verdad final en el espacio que está esperando a que la encontremos, y la tarea de la ciencia consiste precisamente en encontrarla.

Hoy, sin embargo, este punto de vista último ha caído en desgracia entre los filósofos de la ciencia, y, evidentemente, también entre algunos de los más notables profesionales de la ciencia contemporánea. La actitud filosófica vigente parece ser, más o menos, la siguiente:

¿Verdad? ¿Absoluto? ¿Realidad final? No, nada de eso, no estamos en las edades oscuras. No estamos siquiera en el siglo XIX. Estamos en los tiempos modernos, y sabemos mejor lo que hay que hacer. Sabemos que no hay que creer en nada semejante a *La Verdad*. Somos gente ilustrada, emancipada, nuestra conciencia se ha refinado y elevado hasta un punto en el que podemos enfrentarnos con el hecho de que lo único que puede asir el ser humano son diversos puntos de vista alternativos, cada uno de los cuales es correcto a su manera. Incluso en el caso de que hubiera una «realidad objetiva», no hay manera de salir al espacio y examinarla directamente. La razón es que todos llevamos gafas con cristales color de rosa, lo que significa que nuestra experiencia anterior, nuestra cultura, lengua, ideas cósmicas preconcebidas, etc., todas esas cosas, se interfieren en el intento de ver el mundo como es en sí. Se solía pensar —en los buenos tiempos pasados— que era posible observar la naturaleza *tabula rasa*, sin ideas preconcebidas. Pero eso es una ilusión. Cuanto antes confesemos todos que llevamos gafas con cristales color de rosa, tanto mejor.

Éste es, en cualquier caso, el punto de vista que postula el gurú del pensamiento científico moderno emancipado, Thomas S. Kuhn. Kuhn entró por primera vez en el Instituto de Estudios Avanzados en el otoño de 1972, diez años después de la publicación de su libro, *The Structure of Scientific Revolutions*, que fue una verdadera bomba en la historia de la ciencia. Cuando se publicó, causó sensación. En primer lugar, porque se reía del punto de vista, entonces vigente, del progreso científico, según el cual la ciencia nos

acerca, en fases crecientes, a una verdad final, impersonal. Para Kuhn la ciencia no funciona en absoluto de esta manera. Lo que ocurre en realidad es que los científicos observan el mundo y elucidan las cosas a través de sus gafas colectivas de cristales rosados, lo que viene a ser lo mismo que decir que lo hacen a través de su opinión colectiva, sus puntos de vista compartidos, sus expectativas comunes tanto sobre su disciplina como sobre el mundo en general. Kuhn llamó a estas creencias comunes «paradigmas», y dijo que su importancia está en que tienden a actuar a manera de anteojeras o viseras, al forzar a los científicos a ver la realidad de ciertas maneras específicas, distintas de otras.

Por ejemplo: si una determinada comunidad científica acepta la idea de que la naturaleza está viva, el concepto de que hay un *élan vital* activo en el universo, esos científicos se sentirán inclinados a interpretar los fenómenos naturales ideológicamente. Verán los acontecimientos guiados por un objetivo y los interpretarán como parte de un plan central. Pero otro grupo, un grupo que cree en una filosofía de mecanismo (según la cual los acontecimientos ocurren en secuencias estrictas de juego de billar, es decir, de causa y efecto), considerará al mundo de manera completamente antitética. Y en cuanto a la cuestión de cuál de ambas imágenes de la realidad es la *correcta*, bueno..., esas cosas no se preguntan, dijo Kuhn. Por lo menos no se preguntan entre científicos.

Este punto de vista sobre la ciencia puede haber sido polémico entre los científicos, pero a los humanistas les pareció una buena noticia. Les encantó. Kuhn, después de todo, humanizaba la ciencia, ponía

al ser humano de nuevo en el centro de la empresa científica: la ciencia ya no era un amontonamiento frío y sin vida de abstracciones impersonales, era la vida misma, el teatro humano, el drama de la gente auténtica que tiene pensamientos auténticos. Que estos pensamientos están precondicionados frecuentemente por experiencias anteriores —la cultura y el lenguaje y todo lo demás— es, en cualquier caso, tanto mejor. Todo ello demuestra, si no otra cosa, que los científicos son tan humanos como el que más, y no una banda de dioses deslumbrantes que salen a descubrir *La Verdad*.

Demuestra también, claro está, la falta de modestia y la presunción de los científicos.

En poco tiempo *The Structure of Scientific Revolutions* se convirtió en un libro que todo el mundo parecía haber leído, y en 1969 Kuhn era uno de los dos o tres escritores más frecuentemente citados en Estados Unidos. La gente comenzó a ver de pronto «paradigmas» y «cambios paradigmáticos» por todas partes, casi como si fuera un juego, un entretenimiento propio de intelectuales, y durante algún tiempo se juzgó la elegancia intelectual de la gente y la medida de su ilustración metacientífica por su habilidad en hacer juegos de manos con cambios paradigmáticos y revoluciones cósmicas.

Y mientras tanto, Kuhn, que sólo había pretendido observar correctamente el progreso de la ciencia (es decir, sin gafas con cristales de color) encontraba muy difícil trabajar en serio. Formaba parte del profesorado de la Universidad de Princeton, daba cursos de historia y filosofía de la ciencia, y quería empezar a escribir una



historia de la teoría cuántica. Pero tenía problemas académicos que le quitaban tiempo. Entre invitaciones a dar conferencias, escribir artículos y contestar a sus críticos —que eran muy numerosos—, Kuhn se encontraba sin tiempo para investigar y escribir. Dicho de otra forma, era el perfecto candidato para el Instituto de Estudios Avanzados.

En la primavera de 1972, Kuhn se puso de acuerdo con la Universidad de Princeton para enseñar solamente un semestre cada año académico y pasar el resto de su tiempo en el Instituto.

Kuhn se instaló en el edificio del Oeste, el nuevo edificio de oficinas construido por Cari Kaysen. Allí estaba entre los historiadores y los científicos sociales del Instituto, algunos de los cuales se sentían algo incómodos por tener a un físico entre ellos. Pero no había motivo de inquietud, porque aunque Kuhn había estudiado para físico —se doctoró en Harvard en esa disciplina— había decidido hacía ya tiempo abandonar la física teórica y dedicarse a la historia de la ciencia.

«Lo vi claro en 1947», dice Kuhn, «cuando tuve que interrumpir mi propio plan de estudios de física durante algún tiempo para preparar una serie de conferencias sobre los orígenes de la mecánica del siglo XVII».

Indagando en este tema hasta llegar a sus raíces mismas, Kuhn leyó la Física de Aristóteles y enseguida fue víctima de shock paradigmático grave. Aristóteles es, como se sabe, una de las grandes mentes de la Antigüedad, y parecía lógico suponer que en sus obras habría mucha ciencia de alta categoría, pero la verdad es

que se *equivoca* muchísimo sobre muchas cosas, se equivoca por completo sobre la manera de funcionar del mundo. Era desconcertante.

¿Cómo puede fallar tan absurdamente el conocido talento de Aristóteles cuando habla, por ejemplo, del movimiento?, se preguntó Kuhn. ¿Cómo puede decir cosas tan evidentemente absurdas sobre ese tema?

Entre las cosas absurdas que dice Aristóteles, está que todos los objetos terrestres constan de cuatro elementos primarios: tierra, aire, fuego y agua, y que cada uno de ellos busca su propio lugar en el esquema general de la naturaleza. La tierra, por ejemplo, busca el lugar más bajo; el agua el siguiente más alto; el aire se sitúa encima, y el fuego más alto incluso que el aire; de esta manera se esperaba explicar el movimiento de todas las cosas en términos de la tendencia natural de todos los objetos a ocupar su propio sitio predeterminado. Aristóteles creía también que los objetos más pesados caen más rápidamente que los más livianos, que una pelota tirada al aire sigue subiendo porque la empuja el aire que tiene debajo, y bastantes otras doctrinas que los físicos modernos consideran curiosas o perversas, según cada uno.

Para Kuhn, esta sucesión de equivocaciones era profundamente inquietante. Aristóteles era un genio de tal calibre —observador agudo y pensador original, inventor de la lógica— que resultaba difícil creer que se hubiese *equivocado* literalmente en tantas cosas. Pero, por otra parte, no se podía negar que mucho de lo que dice es, pura y simplemente, ridículo. «Cuanto más leía, tanto más perplejo

me sentía», dice Kuhn. «Aristóteles, como es natural, podía haberse equivocado, y yo, personalmente, no tenía la menor duda de que así era, pero me parecía inconcebible que sus errores fuesen tan evidentes y contundentes».

Kuhn estaba empezando a ver la luz.

«Un memorable (y muy cálido) día de verano todas esas perplejidades mías desaparecieron de pronto. Capté de una vez los rudimentos coherentes de una manera distinta de leer los textos con los que había estado luchando».

Esa manera distinta consistía en adoptar la manera de Aristóteles de ver las cosas, o sea, ponerse las gafas de cristales rosados de Aristóteles. Y entonces, cuando abriera los ojos, ¿qué vería?, pues vería el universo de Aristóteles abrirse ante él en toda su fantástica gloria. Y todo estaría perfectamente claro.

Para Kuhn, la visión que le brindaban las lentes de Aristóteles supuso un cambio total. «Eso no quiere decir», dice Kuhn, «que me volviera aristotélico, pero me fue necesario aprender a pensar en cierta medida como un aristotélico». Aristóteles trabajaba dentro de un paradigma que nosotros ya no usamos, un esquema en el que cualidades como lugar, forma y objetivo eran las realidades primarias. Una vez que se aceptaba el concepto de «lugar natural» no había nada más lógico que deducir que todo cuerpo material «busca» el lugar al que pertenece por ley natural. Los mecanismos de Aristóteles, que antes parecían extraños, ahora resultaban, a su manera, bastante razonables, y sus errores ya no parecían tales. «Yo seguía viendo dificultades en su física», dice Kuhn, «pero no eran

tan grandes, y pocas de ellas podían ser calificadas propiamente de simples errores».

Partiendo de esto, Kuhn pasó a postular que todos los científicos trabajan dentro de paradigmas, juegos específicos de compromisos que comparten con los demás científicos de su tiempo. El paradigma especifica lo que se puede y lo que no se puede aceptar como teoría, y, de esta manera, determina la forma y el contenido de la ciencia. Los paradigmas son despóticos, porque controlan, literalmente, lo que los científicos ven cada vez que contemplan el mundo. Son como las *gestalten* que actúan cuando se mira una imagen electrónica: primero se ve un diseño ininteligible... que de pronto adopta la forma de un jarrón..., el cual, a su vez, parece súbitamente un rostro doble que se mira a sí mismo... O bien se ve algo que parece una escalera empinada..., pero si se mira de forma distinta se ve algo parecido a una escalera muy profunda. Y así sucesivamente. Los paradigmas, naturalmente, actúan en gran escala, como si el mundo mismo no fuera otra cosa que una ilusión electrónica, ambigua y amorfa en sí misma, y visualizable de tantas maneras distintas como maneras hay de mirarlo. Para Kuhn lo que se ve está en función del bagaje intelectual y la cantidad de equipaje utilizados en el acto de mirar, y no en función de lo que realmente está siendo mirado.

«Cuando mira una fotografía de una cámara de burbujas», dice Kuhn, «el estudiante ve líneas confusas y rotas, pero el físico ve el patrón de sucesos subnucleares familiares. Sólo después de muchas transformaciones visuales llega el estudiante a convertirse en

habitante del mundo de los científicos, y a ver lo que ve el científico, y a reaccionar como reacciona el científico».

Con esta idea de la ciencia, resultó fácil para Kuhn explicar las revoluciones científicas: para él tienen lugar cuando un paradigma se ve sustituido por otro. El mecanismo sustituye a la teleología; el azar de la mecánica cuántica sustituye al mecanismo. La naturaleza en sí no cambia: lo que cambia es nuestra manera de *verla*. Como la gente se siente tan unida a sus paradigmas, las revoluciones científicas tienden a ir acompañadas por cierto derramamiento de sangre intelectual, y esto ocurre por la misma razón que en las revoluciones políticas: en ambos casos las claves ocultas no son racionales, sino emocionales, y no se resuelven por silogismos y análisis racionales, sino por medio de factores «irracionales», como afiliación de grupo y gobierno de la mayoría. «En la selección de paradigmas», dice Kuhn, «ocurre lo mismo que en las revoluciones políticas, que no hay patrón más alto que el asentimiento de la comunidad directamente afectada por ella».

De aquí se deduce que los científicos no escogen sus paradigmas desde un punto de vista racional, sino desde otro completamente distinto. «La cuestión de selección de paradigmas no se resolverá nunca sobre la base exclusiva de la lógica y el experimento», dice Kuhn. «En esas cuestiones no se trata de pruebas o de errores, el paso de paradigma a paradigma es una experiencia semejante a una conversión, y no puede ser forzada».

Para algunos la parte más revolucionaria, por no decir perturbadora, de la idea de Kuhn sobre la ciencia y su progreso era

que parecía dejar completamente fuera de su esquema cosas como el conocimiento, la verdad y la realidad externa. Más aún, en *The Structure of Scientific Revolutions*, la cuestión de la verdad sólo se debate al final del libro, donde surge casi como una reflexión de última hora. «Ha llegado el momento de mencionar», escribe Kuhn, «que en este ensayo la palabra “verdad” sólo entra en las últimas páginas y entre comillas, en una cita de Francis Bacon... Es inevitable que esta omisión haya turbado a muchos lectores».

Pero Kuhn pasa acto seguido a confirmar las peores sospechas de sus lectores al decir que, en la ciencia, la verdad es un concepto optativo y gratuito. «¿Sirve realmente de algo», pregunta, «imaginar que hay una visión de la naturaleza completa, objetiva y verdadera, y que el auténtico baremo del logro científico es la medida en que nos acerca a ese objetivo final?». Kuhn no lo cree. Los paradigmas mismos, para él, no son ni verdaderos ni falsos: son o no son parte del acervo de una determinada comunidad científica, y no hay más que decir sobre ellos. Naturalmente, es posible explicar por qué motivo un paradigma se ve sustituido por otro: se pueden indagar toda clase de relaciones sociológicas entre los paradigmas y las comunidades que los poseen, pero lo único que no cabe hacer es comparar un paradigma con la realidad. Para hacer esto habría que poder ver la realidad «como realmente es», o sea, al margen de cualquier paradigma. Pero la cuestión es precisamente que no se *puede* ver la realidad como realmente es: los científicos, como los demás seres humanos, están condenados a verla solamente a través de gafas con cristales de color rosa.

Lo que se deduce de todo esto es que la ciencia no llega ni puede llegar a «la verdad» en ningún sentido objetivo y personal. Y de esto se deriva a su vez que no hay ni puede haber progreso en la ciencia, si por progreso se entiende acercarse más a la manera de ser de las cosas en sí. «Es posible», dice Kuhn, «que tengamos que renunciar a la idea, explícita o implícita, de que los cambios de paradigma acercan cada vez más a la verdad a los científicos y a los que aprenden de ellos».

Justo después de la publicación de *The Structure of Scientific Revolutions*, Thomas Kuhn asistió a una reunión de la Asociación de la Filosofía de la Ciencia, en Cleveland, donde conoció a un filósofo e historiador de la ciencia llamado Dudley Shapere. Como Kuhn, Shapere se había doctorado en Harvard. El doctorado de Shapere, sin embargo, era en filosofía, no en física, y, por consiguiente, cabía esperar que estuviese enteramente del lado de Kuhn, e incluso que le felicitase por haber hecho de la ciencia un lugar seguro para los humanistas. Pero la verdad es que a Shapere, Kuhn le espantó. Shapere pensó que Kuhn era un relativista; negaba la objetividad y la racionalidad de la ciencia; daba a entender que la ciencia era poco más que subjetivismo colectivo, un espejismo de masas, una serie de modas disfrazadas para darles aire presentable. Nada de esto le parecía aceptable a Shapere, que estaba convencido de que en el espacio hay una realidad exterior y que la ciencia es capaz de captarla, que la conquista de la verdad objetiva es, si no toda la razón de ser de la ciencia, por lo menos una parte esencial de ella. Poco después Shapere publicó una reseña del libro de Kuhn, en

la que lo calificaba de «ataque sistemático contra la imagen vigente del cambio científico como proceso lineal de conocimiento creciente». A finales de la década de los setenta, Dudley Shapere residió, a su vez, en el Instituto de Estudios Avanzados, donde elaboró un concepto de la ciencia que iba a demostrar que los científicos, a pesar de que trabajan en comunidades definidas por ideas afines y creencias de fondo compartidas, pueden descubrir y descubren auténticas verdades sobre la naturaleza. Lo que él quería, dijo, era «eliminar barreras que estorben las posibilidades del pensamiento humano».

Shapere negaba que el ver las cosas a través de gafas con cristales de color haga imposible una auténtica comprensión de la naturaleza. Si sabemos que llevamos gafas con cristales coloreados, siempre podemos ajustarlas de manera que nos sea posible ver la naturaleza en sus auténticos colores. La expresión que usa Shapere para el concepto de paradigma de Kuhn es «creencias de fondo». (Un crítico especialmente asiduo de Kuhn examinó *The Structure of Scientific Revolutions* y comprobó que la palabra crucial «paradigma» se utilizaba en veintidós sentidos distintos. «Es evidente que hay que aclarar esto», dijo Kuhn a modo de respuesta). Shapere adujo que se puede tener conciencia de las propias creencias de fondo y, si se es científico, corregir o ajustar aquellas que se interponen entre uno y la verdad.

Las creencias religiosas, políticas y metafísicas pueden interferir en el pensamiento del científico. Isaac Newton, por ejemplo, basó su cosmología en los principios de la religión cristiana. Pero esto sólo



significa que la gente no nace con el instinto de seguir el método científico. Ese método hay que *aprenderlo*, y hay que «aprender a aprender», como dice Shapere. El hecho es, sin embargo, que ya *hemos* aprendido a aprender sobre la naturaleza, y el resultado de ese aprendizaje es la ciencia moderna.

La otra mitad de la imagen es el conocimiento acumulado que produce la experiencia. Aun cuando llevemos gafas con cristales rosados siempre hay muchas cosas que relucen intactas a través de ellos. Los colores de los objetos pueden tender al rojo, pero las formas, los tamaños, las texturas y otras cualidades del espacio llegan a nosotros tal y como son. Si no podemos ver los colores de la naturaleza en su verdadera calidad cromática, al menos podemos ver con exactitud todo lo demás que hay visible en el espacio. Las gafas con cristales de color pueden colorear nuestra visión de la realidad, pero lo que no pueden hacer es crear esa visión.

Una idea errónea que tiene mucha gente del Instituto de Estudios Avanzados consiste en pensar que allí todo el mundo habla con todo el mundo. Y los veteranos del Instituto encuentran esto bastante divertido. «El Instituto», dice el antropólogo Clifford Geertz, que lleva aquí dieciséis años, «no es un club intelectual en el que yo, por ejemplo, vaya a cambiar impresiones con Gödel sobre el teorema de incompletitud mientras él me habla a mí de las religiones de Java. La verdad pura y simple es que no es así».

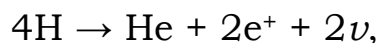
Lo que ocurre, en general, en el Instituto es que cada uno trabaja por su lado. «Ésa es una de las características de la vida aquí», dice Freeman Dyson, «que estamos muy divididos en grupitos; puede que

eso no nos guste, pero es así, y ésa es la forma de trabajar de verdad. Si yo me esforzara en pasar el tiempo con un historiador o un matemático para enriquecer mi mente, en cierto modo estaría abandonando mi trabajo. Mi trabajo, en primer lugar, consiste en conocer a la gente que se dedica a lo mismo que yo. De modo que eso es exactamente lo que hago».

Dudley Shapere, sin embargo, considera que eso es una lástima. «Lo que verdaderamente vulnera el espíritu del Instituto», dice, «es la falta de contacto entre sus diversas partes. Cada departamento es totalmente independiente de los demás, y esto, en realidad, es una gran desventaja. Incluso, raras veces, los visitantes consiguen entrar en contacto con alguna otra zona que la de su visita. Puede que esté quejándome por razones personales, pero, con la cantidad de científicos que hay en el Instituto, se podría esperar que hubiera un gran interés por la filosofía de la ciencia, ¿verdad? Bueno, pues nada de eso, lo que hay es arqueología por un lado, historia norteamericana por el otro, y así sucesivamente. Cosas que, evidentemente, son importantes y tienen su valor, pero que, cada una a su aire, no constituyen la clase de fecundación recíproca que cabría esperar en un lugar como éste».

Shapere, de todas las maneras, se esforzó por salir de su propia disciplina y comprobar personalmente el avance de la ciencia. Unió sus esfuerzos a los del científico del Instituto más influido por Kuhn, John Bahcall. A pesar de sus dudas kuhnianas sobre la posibilidad teórico-abstracta de encontrar *la verdad*, Bahcall estaría encantado de dar con la verdad sobre los neutrinos solares.

En teoría, los neutrinos se producen en el interior del sol como consecuencia de la fusión termonuclear. El sol funde elementos ligeros, transformándolos en elementos más pesados, concretamente transforma el hidrógeno en helio. El helio es, aproximadamente, cuatro veces más pesado que el hidrógeno, y, consiguientemente, hacen falta alrededor de cuatro núcleos de hidrógeno para hacer uno de helio. Sin embargo cuando los núcleos de hidrógeno se juntan por fusión, se pierde una cierta cantidad de masa, parte de la cual se transforma en energía, según lo expresa la ecuación  $E = mc^2$ , y esta energía irradia en forma de luz visible. El resto de la masa perdida reaparece en forma de neutrinos según la llamada secuencia de reacciones protón-protón, en la que cuatro protones (núcleos de hidrógeno) se funden formando un solo núcleo de helio, dos positrones y dos neutrinos. Esquemáticamente, esto se expresa así:



donde vemos que H es un núcleo de hidrógeno, He un núcleo de helio,  $\text{e}^+$  un positrón, y  $\nu$  un neutrino.

Ahora bien, este tipo de reacción pasa por ser tan bien comprendido —es el mismo proceso que subyace a la reacción termonuclear en la bomba de hidrógeno— que John Bahcall estaba convencido de que tenía que ser posible calcular el ritmo exacto en que caen a la tierra los neutrinos solares. Y si se comprobaba que los neutrinos caían a

un ritmo calculado, toda nuestra comprensión de la combustión solar quedaría confirmada.

En vista de ello Bahcall hizo el cálculo, inventando una unidad nueva: la unidad de neutrino solar, «SNU», especialmente con este objeto. Lo único que quedaba por hacer era preparar un experimento capaz de medir el ritmo exacto del bombardeo solar de neutrinos sobre la tierra.

Esto era lo difícil. Los neutrinos no tienen masa, y esto quiere decir que viajan a la velocidad de la luz; y además son eléctricamente neutros, lo que quiere decir que apenas interaccionan con la materia ordinaria. Más aún, se piensa que el neutrino medio podría atravesar *cien años luz de plomo* con sólo un cincuenta por ciento de riesgo de ser absorbido. Si los neutrinos son capaces de una cosa así, ¿cómo se puede pensar que iban a ser detenidos en su carrera por un detector de tamaño terrestre en la tierra?

La respuesta es que se piensa que los neutrinos caen sobre la tierra en tales cantidades —miles de millones por segundo pasan de manera invisible día y noche por las retinas de cada uno de nosotros— que hay una gran probabilidad de que por lo menos un pequeño número de ellos interaccione con la materia terrestre si se toman medidas especiales. Éste era un problema realmente interesante y difícil para los físicos experimentales, pero Ray Davis, colega de Bahcall que trabaja como químico en el Laboratorio Nacional de Brookhaven, Long Island, tuvo una idea para diseñar un detector de neutrinos solares. Su plan consistía en poner un

gran tanque de líquido de limpieza en seco (percloroetileno) a unos dos kilómetros más o menos por debajo de la superficie de la tierra. El percloroetileno de uso corriente ( $C_2Cl_4$ ) contiene gran cantidad de cloro-37, un isótopo de cloro que, al reaccionar con neutrinos, se convertiría en argón-37. Cada núcleo de cloro-37 se compone de diecisiete protones y veinte neutrones. Si uno de esos neutrones absorbe un neutrino, el neutrón se convertirá en un protón. En cuanto esto ocurre, lo que era cloro-37 se vuelve de pronto algo distinto, porque su núcleo tiene ahora un protón extra (dieciocho protones) y un neutrón menos (diecinueve neutrones). Dicho de otra forma, se convierte en un átomo de argón-37, un isótopo del gas radiactivo argón. La conclusión es que si se encuentra argón-37 flotando en una cuba de percloroetileno puro, es seguro que un neutrino o un rayo cósmico perdido, ha entrado en esa cuba.

Fue precisamente en prevención de los rayos cósmicos por lo que se pensó poner muy profundamente bajo tierra el depósito de percloroetileno. Con dinero facilitado por la Fundación Nacional de Ciencia y por la Administración de Investigación y Desarrollo Energético, Ray Davis situó unos cuatrocientos cincuenta mil litros de líquido de limpieza en seco —suficiente para llenar una piscina de tamaño olímpico— en un pozo de la mina de oro llamada Homestake, a ciento treinta y cinco metros bajo la aldea de Kellog, estado de Dakota del Sur.

«Los que vayan allí», dice John Bahcall, «encontrarán un pequeño hotel que yo creo que es el único sitio del mundo donde sirven martinis de neutrinos. No hay en el mundo muchos astrónomos de

neutrinos —posiblemente tres y cuatro, como mucho—, pero lo cierto es que constituimos buena parte de la clientela del bar de ese hotel, que, por cierto, está muy cerca de donde asesinaron a Calamity Jane y a Wild Bill Hickoc, supongo que por razones que no tenían nada que ver con el experimento».

El caso es que el experimento se realizó, pero el aparato de Ray Davis localizó poquísimos neutrinos, por no decir ninguno.

«El primer año en que se puso en marcha el proyecto fui a la mina en compañía de Davis», dice Bahcall, «y personalmente nos sentimos muy decepcionados. Los dos teníamos que cuidar de nuestras carreras, y habíamos persuadido al gobierno y a numerosos colegas del mundo de la ciencia de que aceptaran un proyecto muy caro y con el que mucha gente no estaba muy entusiasmada. Davis no iba a sacar nada, y yo me decía que se estaba demostrando que me había equivocado; total, que fue un verano decepcionante.

»Recuerdo cuando estábamos arriba, en el cuarto donde nos poníamos botas y mucho atavío especial para bajar por el pozo. Estábamos allí con los mineros, poniéndonos todos esos aparejos, y nos sentíamos un poco deprimidos. Davis había pasado la mayor parte del año yendo y viniendo de la mina y se había hecho bastante amigo de los mineros. Éstos nos preguntaban qué tal iban las cosas, y Davis les dijo que la verdad era que no iban demasiado bien, que no se había detectado ningún neutrino, y que el experimento no estaba dando el resultado que se esperaba. En una palabra, que la situación no era muy buena ni para él ni para mí, y entonces un minero muy amable, muy simpático, le dijo a Davis: “No te

preocupes, las cosas os irán mejor, ya veréis, es que este verano ha sido muy nuboso”».

Pero las cosas no fueron mejor. El detector de neutrinos de Davis era tan sensible que los experimentadores podían contar, casi uno a uno, el número de átomos de argón-37 que había en el depósito, y esto es realmente desconcertante, si tenemos en cuenta que esos átomos iban a tener que ser extraídos uno a uno de cuatrocientos cincuenta mil litros de líquido. El procedimiento consistía en introducir gas helio en el depósito, agitándolo en el interior del líquido con enormes ruedas. De esta forma los átomos de argón-37 que hubiera allí se dejarían llevar por el helio, y el helio entonces se extraería del depósito, refrescado, pasándolo por un filtro de carbón de leña que lo separaría del argón. Como el argón-37 es radiactivo, sus desintegraciones pueden ser detectadas por un aparato semejante a un contador Geiger, y en este sentido los experimentadores podrían hacer un recuento exacto de cuántos átomos de argón-37 había en la cubeta.

Para comprobar la exactitud de todo el experimento, Davis y sus colegas añadieron al depósito una cantidad conocida de átomos de argón-37: exactamente quinientos átomos. Veinticuatro horas más tarde recuperaron un 95 por ciento de ellos.

Basándose en sus cálculos, Bahcall pensaba que Davis extraería de diez a veinte átomos de argón-37 por cada período de medición, o sea, un par de meses aproximadamente. Pero, con gran desánimo de Bahcall, Davis encontró mucho menos, y, la verdad sea dicha, su número no fue muy distinto del que se habría producido si hubieran

entrado en el depósito rayos cósmicos al azar. Dicho de otra manera, muy poco o nada de argón-37 podía atribuirse al esquivo neutrino solar. «En realidad», dice Bahcall, «no hay pruebas concluyentes, después de pasados más de diez años del descubrimiento, de que se haya detectado ningún neutrino».

Para Bahcall y Davis esto era increíble. Y sin explicación satisfactoria. Y no es que no hubiera ninguna explicación *en absoluto*, al contrario, había demasiadas. Las explicaciones se dividían en tres categorías principales, y estaban relacionadas con la producción solar de neutrinos, con la desintegración de los neutrinos en vuelo, y con problemas derivados del proceso de detección. Pero todas ellas eran inaceptables por distintas razones, y algunas —como el decir, por ejemplo, que en tal momento no luce el sol— eran más bien estrambóticas. (Esto, sin embargo, no es tan disparatado como parece a primera vista: la idea era que el sol genera energía a chorros, y que ahora estamos pasando por un período bajo, de modo que el ritmo de caída de neutrinos a la tierra es menor de lo que se había pensado). Otra explicación era que la energía del sol no procede de la reacción protón-protón, como se pensaba, sino de un agujero negro inadvertido que hay en el interior del sol. Como es natural, no existe la menor prueba de la existencia del agujero negro en cuestión.

En el Instituto, John Bahcall, junto con Nicola Cabibbo y Amos Yahil, miembros visitantes ambos, propusieron otra explicación, consistente en que los neutrinos nunca llegan hasta nosotros. Según esa explicación los neutrinos decaen durante el vuelo, y se



desintegran, transformándose en otras partículas. El único inconveniente de esta explicación es que no hay ninguna partícula conocida en la que pueda transformarse el neutrino cuando se desintegra. Por lo tanto, en la mejor tradición de la física de partículas, Bahcall y sus colegas inventaron una nueva partícula precisamente para este fin, un bosón escalar de poca masa. Por desgracia no se les ocurrió ningún experimento capaz de comprobar su existencia.

Así pues, todas las alternativas resultaron incompatibles: algunas de ellas no eran del agrado de los astrofísicos, otras no convencían a los físicos de partículas.

«Casi todos los físicos con quienes he hablado», dice John Bahcall, «creen que el problema es astronómico. Pero lo malo es que casi todos los astrónomos dicen que el problema tiene que ser físico».

La situación, en su totalidad, era tan angustiante para John Bahcall que acabó por compararla a un cambio kuhniano de paradigmas: «En astronomía estamos enfrentándonos ahora con una situación parecida a la que se describe en el libro de Kuhn sobre las revoluciones científicas. La razón es que existe una teoría, muy creída, muy usada, de cómo evolucionan y envejecen las estrellas, y cómo adquieren energía, teoría, además, que explica también por qué luce el sol. Bueno, pues esta teoría no ha aprobado el examen, y esto ha inducido a la gente a comportarse más o menos como dice Kuhn en su libro que se comporta».

A ojos de Dudley Shapere, por el contrario, el fallo del experimento de neutrinos solares significa únicamente que *la verdad* sigue

flotando en el espacio, y que, con el tiempo, la ciencia acabará dando con ella. La cuestión se resolverá por medio de algún experimento, posiblemente el que ahora están preparando Bahcall, Davis y otros, y que utilizará un detector de germanio-galio cuyo coste asciende a más de veinticinco millones de dólares. Cuando se realice este experimento, si es que llega a realizarse, podremos quizá comprender por qué no se observaron neutrinos a un kilómetro bajo tierra en la zona llamada de Black Hills, colinas negras, del estado de Dakota del Sur.

Los humanistas pueden aducir, cuando hablan entre ellos, el estatus epistemológico y metafísico de la ciencia, pero los científicos, incluso cuando —como en el caso de John Bahcall— tienen dudas filosóficas sobre la verdad final de sus conclusiones, parecen continuar con su trabajo como si todas esas cuestiones fueran irrelevantes. Y cuando se tiene la espantosa mala suerte de ser filósofo, no se quiere ni siquiera oír lo que dicen los científicos en activo sobre la filosofía y los que la ejercen.

«Yo no quiero discutir con filósofos», dijo en una ocasión Murray Gell-Mann. «Tengo incluso una prescripción facultativa que me prohíbe discutir con filósofos. Me la extendió un médico que asistió a uno de mis cursos de ampliación».

«Muchos científicos son temperamentamente alérgicos a las discusiones y los debates filosóficos», explica John Bahcall, «y me parece que fue Leibniz el que definió la filosofía como la disciplina en la que se levantan polvaredas para luego decir que no se puede ver. Ésta es una actitud que comparten muchos científicos».

¿Y por qué no? Los filósofos se pasan la vida diciendo a los científicos lo que no pueden hacer, lo que no pueden decir, lo que no pueden saber, y así sucesivamente. En 1844 el filósofo Augusto Comte dijo que si había una cosa que nunca llegaría a saberse, era la composición de las estrellas lejanas y los planetas. Pero tres años después de la muerte de Comte los científicos descubrieron que la composición de un objeto se puede determinar por su espectro, por lejano que esté el objeto. Pero si bien es cierto que los filósofos juzgan a los científicos, lo contrario no lo es, porque los científicos pasan relativamente poco tiempo criticando a los filósofos.

Claro es que a veces ocurre. «Los filósofos», afirma Richard Feynman, «hablan mucho de lo que *es absolutamente necesario* para la ciencia, y esto a mí me parece bastante ingenuo, y probablemente erróneo. Por ejemplo, cierto filósofo dijo una vez que para el esfuerzo científico es fundamental que si un experimento se lleva a cabo, por ejemplo, en Estocolmo, y luego se vuelve a hacer, digamos, en Quito, los resultados en ambos casos *sean los mismos*. Esto es falso. No es necesario en absoluto que la *ciencia* haga eso; puede ser un *hecho experimental*, pero no es necesario. Por ejemplo, si uno de los que hacen el experimento mira al cielo y ve una aurora boreal en Estocolmo, en Quito no la verá.

»«Pero, claro», dirán ustedes, “esto es cuando se hace al aire libre, ahora bien: ¿se notaría alguna diferencia si se encierra uno en una caja en Estocolmo y baja la tapa?”. Evidentemente que sí. Si se pone un péndulo en una bisagra cardánica y se la deja oscilar, el péndulo oscilará casi en un plano, pero no por completo. En Estocolmo ese

plano cambia lenta pero continuamente, y en Quito no, aunque también allí esté bajada la tapa. Y el que las cosas sean así no supone la destrucción de la ciencia».

A Freeman Dyson le preguntaron una vez qué pensaba de los filósofos que, como Paul Feyerabend y Thomas Kuhn, aseguran que la ciencia no puede realmente llegar a conocer la verdad. Dyson contó entonces una anécdota sobre los festejos del centenario de Albert Einstein, que tuvieron lugar en 1979 en el Instituto de Estudios Avanzados. El Instituto formó un comité para invitar a oradores de tres ramas del conocimiento: ciencia, historia de la ciencia y filosofía, y se le proporcionaron listas de gente a las que se consideraba que valía la pena invitar.

«Lo divertido fue cuando nos pusimos a mirar las listas», dice Dyson. «Cogimos las listas de científicos, y todos ellos eran gente a la que conocíamos personalmente. Cogimos la lista de los historiadores de la ciencia, y eran gente cuyos nombres habíamos oído, aunque no les conociéramos personalmente. Y luego cogimos la lista de los filósofos de la ciencia, y eran gente de cuyos nombres no teníamos la menor idea. Esto a mí me pareció interesante. Quiero decir que en algún lugar del mundo hay toda una cultura de filosofía de la ciencia con la que no tenemos ningún contacto en absoluto. De modo que cuando me hablan de Feyerabend, pues, nada, que no he leído una sola palabra escrita por Feyerabend. No sé nada de él. Es pura casualidad que conozca a Tom Kuhn, pero, lo mismo, no he leído casi nada de lo que escribe. La verdad es que hay muy poco contacto entre lo que llamamos ciencia y lo que

hacen esos filósofos de la ciencia, que tampoco sé muy bien en qué consiste.

»Son muy pocos los científicos que piensan realmente como filósofos de la ciencia, eso para empezar», prosigue Dyson. «Quiero decir que los científicos pasamos la mayor parte del tiempo lidiando con cosas tangibles, sobre todo en astrofísica. Hablo desde la mayor ignorancia, porque no leo lo que escriben esos filósofos, pero he asistido a bastantes charlas y conferencias de gente proclive a la filosofía, y, en primer lugar, me parece que piensan —como piensa Tom Kuhn— que la física cuántica es esencialmente la totalidad de la ciencia. De alguna manera, esto es lo único que consideran característico de la ciencia. En realidad, la física cuántica es probablemente muy especial; la mayor parte de la ciencia es muy distinta. Desde luego la astrofísica lo es».

Los científicos del Instituto de Estudios Avanzados buscan la verdad sobre las cosas sin pararse nunca a pensar en lo que Shapere califica de «barreras que cortan las posibilidades del pensamiento humano», levantadas a través del campus por algunos de sus amigos humanistas.

«Es irónico», dice Dudley Shapere, «que una de las principales doctrinas de la filosofía de la ciencia en estas dos últimas décadas sea que siempre hay muchas teorías alternativas, incluso un número infinito de ellas, capaces de explicar igual de bien cualquier corpus de supuestos datos, y que cualquiera de estas teorías puede ser defendida “contra lo que sea”. ¡Y esto, precisamente cuando los físicos están empezando, por fin, a aceptar que puede ser posible

llegar a una teoría, la teoría de supercuerdas, que lo explicaría todo! No es de extrañar que a los científicos les parezcan irrelevantes las ideas filosóficas».

Total, que los científicos del Instituto se ponen a elaborar sus vastos pensamientos sobre los extremos de la naturaleza, sobre lo inmenso y lo infinitesimal, sobre el pasado lejano y el lejanísimo futuro. Incluso el de talante más filosófico y escéptico, John Bahcall, trabaja día a día como si estuviese convencido de que su trabajo acabará brindándole la verdad sobre la naturaleza, no una historia adventicia o una hipótesis provisional o cualquier otra interpretación. Sino... *la verdad*.

Para responder a una simple pregunta: ¿Llegan los neutrinos desde el sol hasta la tierra?, John Bahcall está dispuesto, impaciente, deseoso de llevar a cabo un experimento que no costará más que veinticinco millones de dólares.

Está claro que los buenos científicos no son humildes.

## Parte IV

### La vida, el universo y todo lo demás

#### Sección 10

#### El equipo lógico de la naturaleza

Cuando Stephen Wolfram llegó al Instituto de Estudios Avanzados, a la edad de veintitrés años, fue instalado en un despacho de la esquina del primer piso, en el edificio de los astrofísicos. Aquél no era realmente el sitio de Wolfram, porque él no era astrofísico. Pero tampoco podía situársele entre los físicos de partículas, porque él no era físico de partículas. Stephen Wolfram pertenecía a una categoría completamente nueva, una categoría que todavía no tenía nombre.

Más tarde, cuando el Instituto le dio toda una suite de despachos para que se acomodara él, su personal y todo su equipamiento de ordenadores, seguía sin haber un nombre para la clase de física a la que se dedicaba, aunque, durante algún tiempo, Wolfram y los suyos se llamaron a sí mismos el grupo de sistemas dinámicos. La razón de que no hubiera nombre para lo que hacían era que su campo de actividad todavía no existía: nadie lo había ejercido nunca hasta entonces.

La mayor parte de los científicos se ciñen a un tema específico reducido —por ejemplo, cúmulos globulares, neutrinos solares, moscas de los árboles frutales—, pero el objetivo que se había marcado Wolfram era mucho más grandioso. Lo que él quería explicar no era cualquier fenómeno determinado, sino la

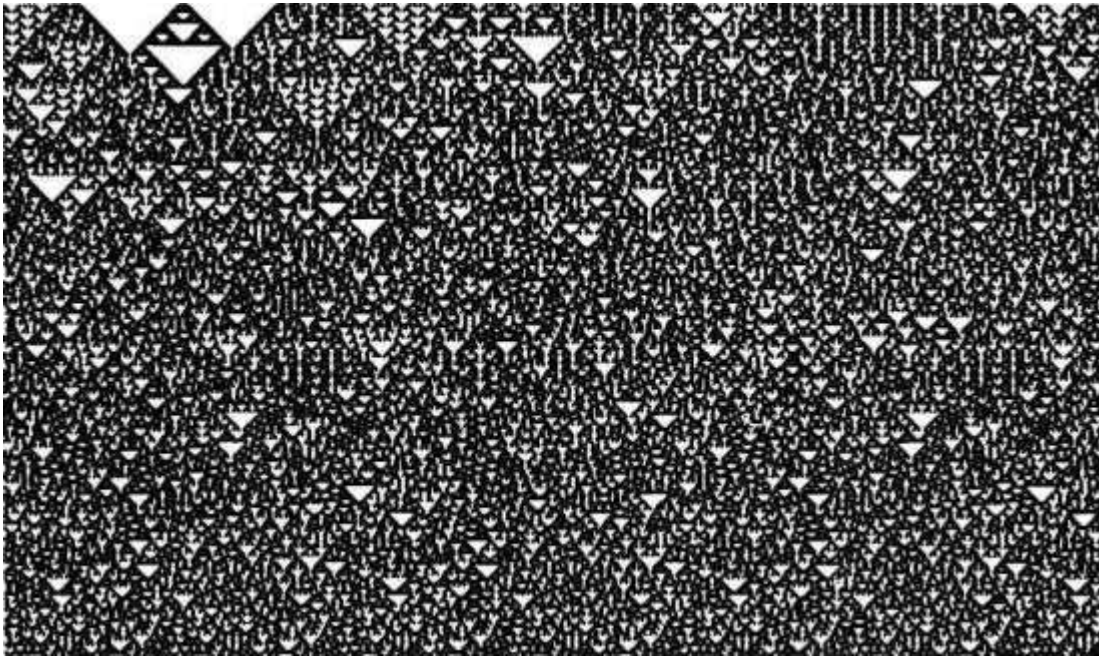
*complejidad misma*, dondequiera que se encontrase, ya fuese en la estructura de las galaxias o en líquidos turbulentos o en las secuencias de nucleótidos de una molécula de ADN. Más aún, quería comprender la complejidad, no en términos del vehículo habitual de la física, porque entonces sería como decir la ecuación diferencial, sino en términos de algo que era esencialmente nuevo en la ciencia: los mecanismos abstractos, generadores de patrones, conocidos por el nombre de autómatas celulares.

Los autómatas celulares no son cosas reales, sino simples abstracciones, creaciones del intelecto. Pero son importantes para Wolfram y sus seguidores porque resulta que cuando esos mecanismos imaginarios se simulan por ordenador, reproducen exactamente las operaciones de sistemas físicos que se encuentran realmente en la naturaleza. Esto es algo misterioso. Es como si alguien escribiera una novela —totalmente ficticia— y luego descubriese que todo cuanto ocurre en ella ha sucedido realmente.

Hubo un tiempo en que Wolfram produjo el modelo de concha marina. Estaba trabajando con un simple autómata celular —y el programa de ordenador preparado para él era completamente inofensivo, su longitud no pasaba de unas líneas— y de pronto apareció en la pantalla un diseño o imagen en forma de diamante. Le recordó a un molusco que había visto alguna vez en un catálogo de biología marina. En vista de ello fue a buscar el catálogo y lo hojeó, y allí estaba. Puso la ilustración del catálogo junto a la imagen de la pantalla del ordenador, y no le cupo la menor duda: su simulación de autómata celular, la pequeña fórmula de



autorrepetición que él mismo había tecleado en el ordenador, reproducía exactamente los patrones de pigmentación de la concha marina. Difícil de creer, pero tenía la prueba delante de sus mismas narices:



Más tarde, Wolfram descubrió que los autómatas celulares no solamente producían patrones que se encuentran en las conchas marinas, sino que también simulaban la estructura de los copos de nieve, el crecimiento de cristales, el serpentear de los ríos, y una docena de cosas más. Era increíble. Tecleaba unas cuantas líneas de código de ordenador y por la pantalla aparecía el mundo real como por arte de magia.

Los autómatas celulares, se dijo Wolfram, podrían explicar la arquitectura misma de la naturaleza.

¿Podría ser, se preguntó, que la naturaleza misma sea, en cierto modo, un gigantesco autómata celular? O, dicho de otra manera, ¿podría ser que el universo en general no fuese más que un vasto... *ordenador natural*?

Stephen Wolfram nació en 1959, en Londres. Su madre era profesora de filosofía en Oxford, y su padre dedicaba parte de su tiempo a negocios de importación y exportación, y parte a escribir novelas. Wolfram no estaba muy interesado en ninguna de estas cosas, pero saltaba a la vista que tenía un talento muy especial y propio, y una idea insólita de su papel en el mundo. Fue a Eton, donde jugó al cricket, o, por lo menos, hizo acto de presencia en el campo de cricket. «Aprendí a adoptar en el campo la postura ideal para poder leer un libro durante el partido», dice Wolfram con su acento británico. «No tenía más remedio que jugar al cricket. Yo, por mi propia voluntad, no habría jugado». Más tarde, a los diecisiete años, fue a la Universidad de Oxford, o, por lo menos, hizo acto de presencia en el campus. «Tuve la suerte de no tener que ir nunca a cursos y a cosas de ésas, porque aprendí de los libros todo cuanto necesitaba saber. A juzgar por lo que he podido observar, los cursos son simplemente una pérdida de tiempo, y casi todo se puede aprender mucho más rápidamente leyéndolo en los libros».

Y esto no es jactancia, porque cuando tenía quince años, o sea, dos años antes de ingresar en Oxford, Wolfram ya había escrito —y publicado— su primer artículo científico, sobre un problema de física de partículas. Este artículo nunca le gustó demasiado. «No era

muy interesante», dice Wolfram. «La verdad es que era muy malo. Ni siquiera tengo copia de él».

Pero de su segundo artículo sí que tiene copia. Lo escribió «mucho más tarde», como él mismo dice, «a los dieciséis años». De éste conservó copia e incluso la encuentra cuando alguien no le cree: «Neutral Weak Interactions in Particle Decays», publicado en *Nuclear Physics*, en 1976.

En 1978, Wolfram fue a los Estados Unidos, a Caltech, el centro tecnológico de California, adonde le invitó el físico Murray Gell-Mann. Se doctoró allí en física teórica un año más tarde, cuando acababa de cumplir los veinte. «La verdad es que estuve a punto de doctorarme antes de cumplir los veinte años», dice Wolfram, con un poco de pena. No mucho tiempo después, Wolfram recibió una de esas becas para «genios» de la Fundación MacArthur, siendo la persona más joven que la ha recibido. Esas becas no se solicitan: simplemente, un día se recibe una llamada telefónica inesperada anunciándole a uno que acaba de ganar una bonita suma anual exenta de impuestos durante los cinco años siguientes, y que con ese dinero podrá hacer lo que le venga en gana. Wolfram se encontró así con ciento veinticinco mil dólares, y decidió emplearlos en seguir adelante con sus investigaciones.

Por aquel entonces los intereses de Wolfram se dividían entre la física de partículas y la cosmología. Le interesaba sobre todo la evolución del universo en sus principios, y decidió trabajar en el problema de la formación galáctica. Para hacer sus cálculos comprobó que sería útil tener un lenguaje de ordenador capaz de

manejar expresiones algebraicas —fórmulas abstractas— en lugar de números solamente. No había entonces un lenguaje de ordenador capaz de hacer esto verdaderamente bien, de modo que Wolfram decidió inventarse uno para su uso personal. Junto con unos pocos colaboradores de Caltech —Chris Cole, Tim Shaw y otros— Wolfram creó un lenguaje de ordenador capaz de expresar álgebra. «En lugar de limitarse a decir que dos y tres son cinco, por ejemplo, este programa podía decir que  $(x + 1)^2$  desarrollado es  $(x^2 + 2x + 1)$ . O sea, que sabía lidiar con símbolos además de con números». Wolfram llamó a su lenguaje SMP, sigla inglesa de Programa de Manipulación Simbólica.

Resultó que un lenguaje de ordenador capaz de manejar símbolos tenía también muchos usos, y no sólo en física teórica, sino en ingeniería y otros sectores de la ciencia aplicada. Wolfram no vio ninguna razón para no comercializar el producto, de modo que pasó los derechos de venta del SMP a una empresa de software llamada Inference Corporation, de Los Ángeles. Esto sentó mal en Caltech, que decía ser propietario del lenguaje, ya que el SMP había sido elaborado en sus locales y por empleados suyos. Caltech y Wolfram llegaron a un acuerdo que hizo innecesario un pleito, pero Wolfram acabó yéndose de todas formas para entrar en el Instituto de Estudios Avanzados, que tenía fama de dejar en paz a la gente, cosa que apetecía muchísimo a Stephen Wolfram.

Durante su disputa con Caltech, Wolfram comenzó a interesarse por la teoría de los autómatas celulares. Estaba comprobando que, para derivar la estructura de las galaxias del Big Bang, hacía falta alguna

especie de mecanismo generador de estructuras, y resultaba que los autómatas celulares dominaban el arte de generar estructuras.

«Cuando se piensa en la termodinámica del principio del universo», dice Wolfram, «se ve uno ante un extraño problema. El universo pasa por haber comenzado como una bola uniforme de gas caliente, pero, a fin de cuentas, lo que vemos es gran número de galaxias que son muy irregulares y como improvisadas. La cuestión es cómo obtener una cosa a partir de la otra. La mecánica estadística normal dice que no es posible, y por eso me sentí interesado en sistemas que permitían comenzar con algo completamente fortuito y completamente uniforme para terminar con algo improvisado y no uniforme, pero que posiblemente tuviera una estructura más bien complicada».

En su nivel más fundamental, este problema requería volver al nacimiento de la filosofía, o sea, por lo menos, a Platón. La cuestión es obtener orden del desorden, complejidad de la simplicidad. ¿Cómo terminamos con estructuras tan intrincadas como la del nautilo, el ojo humano, el oído interno, la base misma de la vida, en las estructuras desconcertantemente complejas del ADN, a partir del caos del Big Bang? Es el mismo problema que subyace en la polémica entre la ciencia y el creacionismo: no se puede sacar algo de la nada, no se puede llegar a un orden fantásticamente complejo a partir de un caos total e irreductible. Para conseguir lo que vemos en el mundo, dicen los creacionistas, hay que asumir que fue Dios mismo quien lo creó.

Wolfram, que es científico, quería explicar el orden sin relacionarlo con milagros divinos, pero, si no fue Dios quien impuso el orden que encontramos en la naturaleza, y si ese orden no estaba siempre presente en un principio, la conclusión es que el universo, de alguna manera, tiene que haberse *autoorganizado*, tiene que haber creado su *propio* orden. Pero ¿cómo?, ¿con qué tipo de mecanismo?

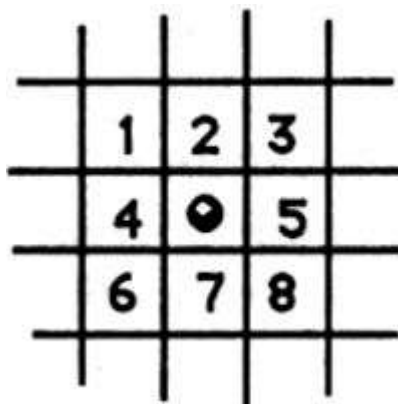
Al mismo tiempo que hacía esto, Wolfram se dedicaba a la cuestión, completamente distinta, de cómo transformar máquinas en mentes. «Comencé a sentir interés por problemas relacionados con la inteligencia artificial», dice Wolfram. «Me di cuenta de que si se quiere que las cosas funcionen de verdad en el terreno de la inteligencia artificial, no hay que contentarse con un ordenador dotado de una sola unidad de procesamiento central, sino que hay que disponer de un ordenador capaz de procesar gran cantidad de información en paralelo, y así fue como comencé a interesarme por los ordenadores más sencillos de procesamiento en paralelo. De modo que estaba dedicado a dos cosas al mismo tiempo: por un lado, tratando de hacer un simple modelo de sistemas capaces de organizarse a sí mismos, y por el otro tratando de comprender modelos sencillos de ordenadores paralelos».

Estos dos problemas tenían una cosa en común, y era que necesitaban un método de conseguir complejidad a partir de la sencillez: una estructura galáctica compleja a partir de una uniformidad originaria; y complejas capacidades informáticas a partir de piezas elementales. Así fue como Wolfram se lanzó a la

comprensión ya mencionada de cómo se puede generar sistemáticamente complejidad a partir de la sencillez.

Él sabía, sobre la base del concepto general matemático de recursividad —el procedimiento que permite definir una cosa en términos de versiones más sencillas de la cosa misma—, que las estructuras complicadas pueden surgir de comienzos sencillos por medio de la iteración repetida de una o más reglas, como ocurre, por ejemplo, en cierto juego llamado Vida.

Ese juego fue inventado en 1970 por el matemático de la Universidad de Cambridge John Conway. Se juega en un vasto espacio celular, un plano bidimensional dividido en «celdas» o «células» semejantes a las del papel cuadriculado, o a las del tablero de damas. Cada célula tiene ocho vecinos, cuatro en ángulos rectos y otras cuatro en las esquinas. Las células pueden estar *encendidas* (esto es, vivas) o *apagadas* (muertas). Si una célula está encendida, se llena con una marca; si está apagada, se deja vacía.



El principio general de este juego es que la vida o la muerte están en función de los vecinos de cada uno: las células aisladas mueren de

aislamiento, mientras las células demasiado pobladas mueren de exceso de población. Cuando no ocurre ninguno de estos dos extremos, las células vivas seguirán vivas, y cuando las condiciones son justo como deben ser, se producirá el nacimiento de una célula viva. Exactamente lo mismo que ocurre en la vida real.

Todo el juego se reduce a estas dos reglas:

1. La célula viva seguirá viva en la generación siguiente si tiene dos o tres vecinos vivos (el justo medio); si no, morirá (de aislamiento o exceso de población).
2. La célula muerta cobra vida —tiene lugar un nacimiento— cuando tiene exactamente tres vecinos vivos.

Éstas son todas las reglas.

Digamos, por ejemplo, que se empieza con dos células vivas solamente, una justo al lado de la otra:



Bueno, éste es un caso de muerte súbita, porque estas pobres desgraciadas se encuentran demasiado solas para poder vivir. En la generación siguiente estas dos células estarán apagadas, y sus cuadrículas en blanco.

Pero si se había empezado con cuatro células vivas dispuestas en cuadrado,





todas quedarían contentas con la vida y seguirían viviendo en la generación siguiente, por la sencilla razón de que contar con tres vecinos vivos es el justo medio.

Y si encima se diera la feliz casualidad de que una célula muerta contase con tres vecinos vivos exactamente,



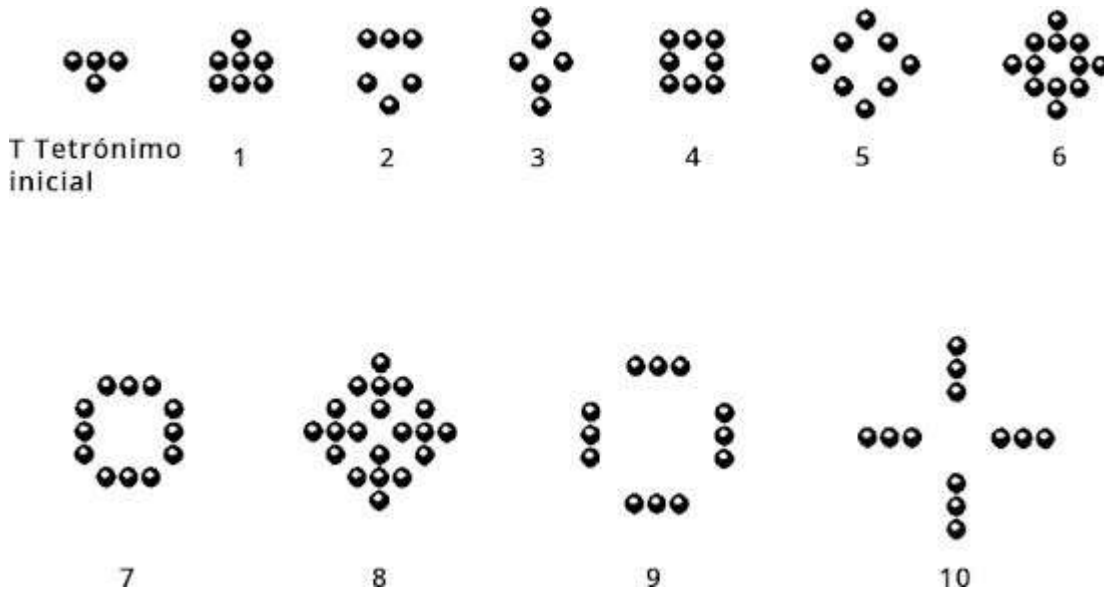
entonces tendría lugar un nacimiento:



Ahora bien, cabría pensar que de reglas tan sencillas no podría salir nada interesante. Pero se equivocaría el que así pensase. Ciertas estructuras son en su comienzo como los buenos genes: fructíferos, y se multiplican, a veces de maneras sorprendentes. Tómese, por ejemplo, la estructura en forma de T llamada «T Tetrómino»:



en la generación inmediatamente siguiente (paso 1, abajo) tienen lugar tres nacimientos. En la generación siguiente a ésta, la forma se rompe, como si las células se escindiesen, y luego: nacimientos, muertes..., y surgen estructuras ordenadas:



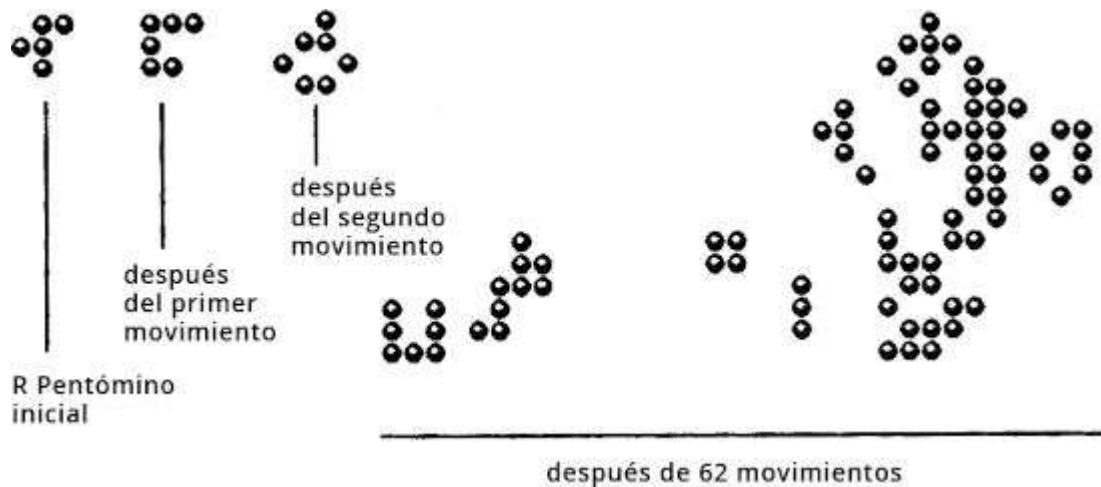
Vuélvase el T Tetrónimo noventa grados en el sentido de las manecillas del reloj y añádase una sola célula viva en la esquina superior derecha, y entonces se tiene una «R Pentómino»:



La R Pentómino es increíblemente prolífica. Al cabo de sesenta generaciones (o sea: movimientos), estalla, transformándose en un microcosmos.

Los patrones evolutivos del juego de la vida —«Formas de Vida»— son ejemplos básicos de autómatas celulares. Son *celulares* en la medida en que existen en las cuadrículas —o celdas o células— de la rejilla de un tablero de damas. Son *autómatas* en el sentido de que se desarrollan por iniciativa propia —«automáticamente»— a partir de repetidas aplicaciones de las mismas dos reglas. Dicho de otra manera, las formas de vida no son interactivas: no necesitan guía o control humano alguno para crecer y desarrollarse. A partir de una configuración inicial de células vivas, toda la historia futura

de esta forma vital queda moldeada para toda la eternidad. El proceso es determinístico en el sentido más alto del término: a partir de la misma estructura inicial, se obtienen siempre los mismos resultados, por muchas veces que se juegue este juego, y ya se hagan tres movimientos o tres millones de movimientos.



Esto es, en realidad, lo que tienen de intrigante los autómatas celulares: parecen crecer espontánea e impredeciblemente, pero su conducta está tan gobernada por reglas y tan predeterminada como las leyes más rigurosas de la física.

El Juego de la Vida, pensado en un principio para el tablero de damas, era ideal para el ordenador, y por eso los aficionados lo programaron en sus máquinas y observaron los resultados. Lo encontraron tan absorbente que, cuando Martin Gardner lo explicó en su sección de «Juegos matemáticos» del *Scientific American*, los profesionales del ordenador lo adoptaron entusiásticamente. «Mi artículo de 1970 sobre el Juego de la Vida de Conway fue recibido con tanto entusiasmo por los aficionados al ordenador del mundo entero», dijo Gardner más tarde, «que la manía de explorar formas de vida se calcula que le ha costado al país millones de dólares en

uso indebido de tiempo de ordenadores». Durante una temporada los entusiastas de Vida llegaron incluso a publicar una revista dedicada a este juego que se llamaba *Lifeline*.

Los profesionales del Laboratorio de Inteligencia Artificial del Instituto de Tecnología de Massachusetts —gente como Bill Gosper, Ed Fredkin y otros— llegaron a quedar tan absorbidos por este juego que comenzaron a preguntarse si no estarían ante algo que era más que un simple juego; si, de hecho, no estarían ante alguna versión de la vida real en red electrónica secreta. Las estructuras que aparecían en la pantalla del ordenador parecían actuar de forma tan realista, en su manera de florecer y morir, procrear y fusionarse, como si fueran fragmentos vivos de una sopa digital. John Conway, el creador del juego, tomó su Vida tan en serio que llegó a imaginar que las formas de vida podrían llegar a *ser* auténticas entidades vivas. «Indudablemente es cierto», decía, «que, a escala suficientemente grande, el Juego de la Vida generaría configuraciones vivas. Pero vivas de verdad, esto es, capaces de evolucionar y reproducirse, de disputarse territorio. En un tablero suficientemente grande, no me cabe la menor duda de que pasaría tal y como lo digo».

Ed Fredkin, por su parte, confesó que, en realidad, no hay manera de demostrar decisivamente que *nosotros mismos* —es decir, los seres humanos— no somos formas de vida de un juego que entretiene los ocios de algún superaficionado metafísico del ordenador.

De vuelta en California, Stephen Wolfram todavía no había dado con la teoría de los autómatas celulares, pero había oído hablar de un juego de ordenador llamado Juego de la Vida. Era amigo de Bill Gosper, que solía contarle toda clase de historias sobre ese juego, y, por más que Wolfram fuese un hombre demasiado equilibrado para dejarse embaucar por los guiones estrafalarios de Conway y Fredkin sobre *formas de vida auténticamente vivas*, lo cierto es que ese juego le parecía bastante divertido. Después de todo, esas extrañas entidades de vida eran parecidas a los modelos por ordenador que Wolfram estaba construyendo entonces por su cuenta, para que le ayudasen en la solución del problema de la formación galáctica. Lo que encontraba equivocado del Juego de la Vida era que no tenía más que un sistema de reglas. Lo que él necesitaba era una manera de estudiar las estructuras que se derivasen de muchas clases distintas de reglas de ese tipo, y necesitaba una manera de estudiarlas que fuese sistemática, matemática, no la simple moda de juego de ordenador que estaba llenando de entusiasmo el paraíso de los forofos del ordenador, es decir, el Instituto de Tecnología de Massachusetts.

«Fue entretenido durante un mes o dos, el tiempo que pasé pensando en esos modelos míos», dice Wolfram, «y luego cené una vez con gente del Instituto Tecnológico de Massachusetts, del laboratorio de informática, y les dije que me interesaban esas estructuras, y les hablé mucho de ellas..., y alguien dijo entonces: “Ah, sí, las cosas ésas han sido algo estudiadas en informática, se llaman autómatas celulares”. Y yo le dije que había oído hablar de

ellos, pero no los conocía. Y él, sin más, fue a mirar y encontró muchos artículos y libros sobre el tema».

Wolfram, sin embargo, no quedó impresionado. «La verdad es que, por el contrario, me sentí algo decepcionado. Si se examina el tema de los autómatas celulares en uno de esos ordenadores que buscan bibliografías, se verá que se habían escrito unos cien artículos sobre ellos en 1981, de modo que fui y leí un montón, pero eran aburridos. ¡*Aburridísimos!* Eran un ejemplo de eso tan triste que tiene la ciencia, y es que si a alguien se le ocurre una idea original, enseguida se escriben cincuenta artículos detallando las aplicaciones más aburridas que cabe imaginar de esa idea, tratando de mejorarla en cuestiones de detalle, que, la verdad, son completamente irrelevantes».

A Wolfram le repelen las cosas aburridas. Él siempre ha viajado mucho, yendo de una conferencia científica a otra, y en una ocasión se le ocurrió la brillante idea de aprender a volar. De modo que, cuando estaba en el Instituto, solía ir al aeropuerto del condado de Mercer, al sur de Princeton, y subirse a un Beechcraft Skipper, un avión de entrenamiento de un solo motor, y con él aprendía aerodinámica práctica, mientras su instructor, sentado a su lado, le miraba, bastante inactivo. Esto, durante una temporada, le interesó... hasta el día en que consiguió despegar sin ayuda de nadie, y acabó empantanado en Dios sabe qué aeropuerto lejano, porque el tiempo era malo y no podía regresar. Eso sí que fue aburrido, y fue, también, el final de la carrera de aviador de Stephen Wolfram.

Más tarde, Wolfram indagó en la evolución de los autómatas celulares hasta llegar a su iniciador, John von Neumann, que había demostrado la posibilidad de que un vasto contingente de estos autómatas se reproduzcan en el espacio celular.

«Von Neumann hizo algo: aportó la idea original», dice Wolfram. «La idea era interesante, pero los detalles, la construcción que había llevado a cabo, era completamente aburrida. Hay un libro lleno de dibujos que analizan este extrañísimo objeto. Los detalles de su implementación son como la demostración matemática más arcana que se ha visto. No sé de nada científico que se pueda aprender de estos complicados detalles. Quiero decir que, como *tour de force*, es interesante, es una demostración impresionante, a él lo que le interesaba era demostrar que la autorreproducción era posible, y eso consiguió demostrarlo, pero el método de demostración era completamente arcano y complicado, y además no me parece muy revelador».

Pero a los pocos meses de su bautismo en el mundo de los autómatas celulares, Wolfram acudió un día a una pequeña reunión científica, en una islita del mar Caribe que era propiedad particular. Allí, a la sombra de las palmeras, y acariciado por las suaves brisas, Wolfram se encontró cara a cara con una *máquina* de autómatas celulares. Esto sí que no tenía nada de aburrido. Al contrario, era interesante. «Fue un amor a primera vista», dice Tom Toffoli, que observó a Wolfram ante la pantalla.

La reunión había sido organizada por Ed Fredkin, que, a pesar de no haber terminado sus estudios universitarios, formaba parte del

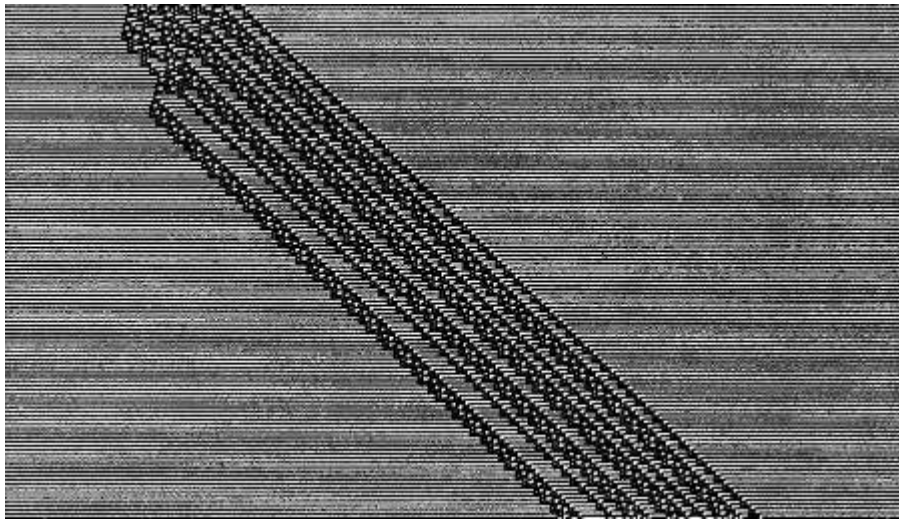
profesorado del Instituto de Tecnología de Massachusetts (MIT). Fredkin había ganado una fortuna con una empresa de investigación de averías digitales y gráficos de ordenador fundada por él con el nombre de Information International Incorporated. Cuando la vendió ya había ganado suficiente dinero para comprarse una isla en el Caribe. La verdad es que era pequeña: un kilómetro de longitud y unos doscientos metros de anchura, y se llamaba, intencionadamente, Mosquito, pero había en ella un centro de vacaciones, llamado Drake's Anchorage, con casetas y salas de reuniones y uno de los mejores restaurantes de las Islas Vírgenes Británicas. El lugar aquel era, según dijo el estudiante del Instituto de Tecnología de Massachusetts Norman Margolus, «útil si lo que se quería era animar a la gente a asistir a una reunión».

La idea de la reunión, que tuvo lugar en enero de 1982, había surgido como consecuencia de una conferencia de física y teoría de cómputo celebrada en el Instituto de Tecnología de Massachusetts el año anterior. Había sido organizada por el Grupo de Mecánica de la Información del MIT, el cual estaba compuesto por Fredkin, Norman Margolus, Tom Toffoli y Gerard Vichniac. Los científicos —y no sólo científicos de la informática, sino también físicos y matemáticos— estaban empezando a darse cuenta, tardíamente, de que el ordenador era algo más que un instrumento para hacer cálculos, y que, en realidad, parecía imitar los procesos del mundo de una manera que hasta entonces era inescrutable.

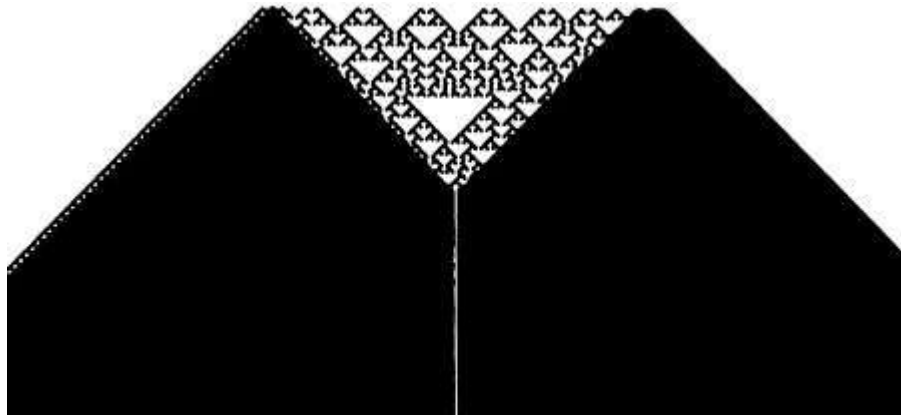
Alrededor de una docena de personas se reunieron en la Isla Mosquito, procedentes del Instituto de Tecnología de



Massachusetts, de la IBM, del Laboratorio Nacional de Argonne, y, por supuesto, también del Instituto Tecnológico de California, al que pertenecía Stephen Wolfram. Y Wolfram, sentado ante la pantalla, viendo subir y bajar los autómatas celulares en ondas crecientes, comenzó a darse cuenta de sus verdaderas posibilidades. Estas cosas podían producir gamas enteras de texturas, miniuniversos enteros. A veces, ciertamente, las estructuras se desvanecían casi antes de empezar: al parecer, para producir un universo no bastaba cualquier sistema corriente de condiciones iniciales. Y en otras ocasiones las estructuras comenzaban caóticamente, pero acababan ordenándose de una manera monótona, repetitiva:



Y había aun otras estructuras que comenzaban de manera ordenada y enseguida degeneraban sistemáticamente en nada o en casi nada:



Lo más fascinante de todo ello era que no había ninguna manera de saber, antes de empezar a pasar el programa, cuál iba a ser el resultado final. Para averiguar lo que ocurría había que poner en marcha los autómatas celulares, que eran cosas algo misteriosas, fantasmales, siniestras incluso. Primero se especificaban las condiciones iniciales, y luego las reglas de su desarrollo, y, finalmente, se ponía en marcha el ordenador y se empezaba a pasar el programa, y a los pocos segundos —¡venga!— ya tenía uno su propio cosmos personal delante de las narices.

Charles Bennet, de la IBM, que estaba en la conferencia de la Isla Mosquito, arrojó algo de luz sobre los principios fundamentales. Wolfram le habló de la teoría de cómputos por ordenador y de los autómatas celulares, y obtuvo así una idea todavía más amplia de cómo funcionaban y lo que podían hacer. No sólo reproducían algo de la estructura física de la naturaleza, sino que además parecían iluminar las maneras de que se sirven las máquinas, y quizá también los seres humanos, para procesar información. Era como si los autómatas celulares se hubieran convertido de pronto no sólo en la clave de la materia, sino también de la mente.

Wolfram ya no volvió a ser el de antes. «A partir de entonces», dice Tom Toffoli, «la bibliografía de Wolfram, o sea, la lista de su producción científica, asciende de cero autómatas celulares, a ciento por ciento de autómatas celulares. Llegó a la conclusión de que los autómatas celulares son capaces de todo, y desde aquel momento Stephen Wolfram se convirtió en el San Pablo de los autómatas celulares».

«Corría por entonces enero de 1982», dice Wolfram. «Yo creo que fue entre febrero y junio de ese año cuando comencé a trabajar seriamente con autómatas celulares. Yo estaba a punto de dejar la Universidad Tecnológica de California, y la verdad es que mis dos actividades durante aquellos meses consistían en hablar con abogados para tratar de aclarar mi situación en la universidad y trabajar con autómatas celulares. Desde luego, mejor habría sido para mi felicidad personal dedicar más tiempo a los abogados y dejar que la ciencia fuese un poquitín más despacio y un poquitín menos intensamente. La verdad es que casi todo mi tiempo se lo dedicaba a ella».

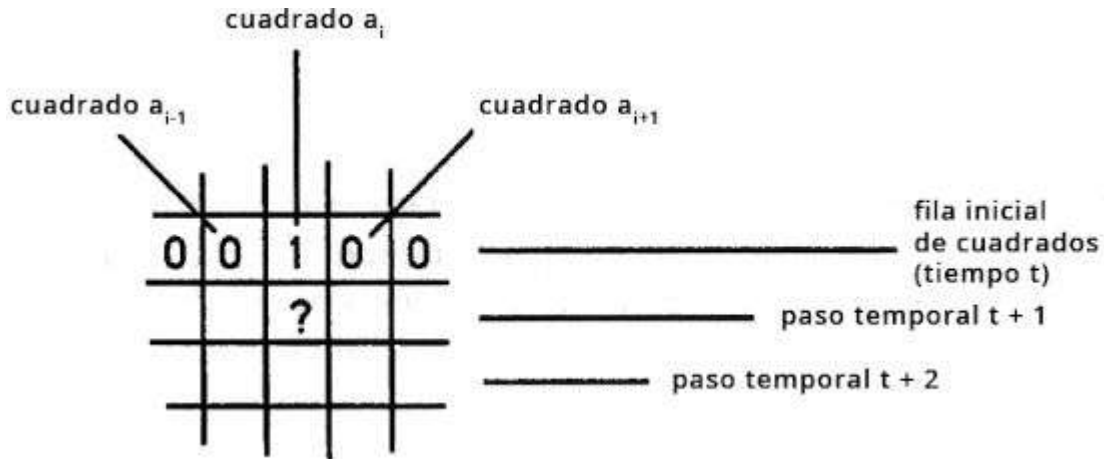
Unos pocos meses más tarde, en diciembre de 1982, Stephen Wolfram, en su Volkswagen Rabbit rojo, fue a Princeton y en la habitación 107 del edificio E del Instituto montó el taller que acabó convirtiéndose en una fábrica de autómatas. Solía ir por la tarde, programaba autómatas en sus ordenadores y se sentaba ante las pantallas para estudiar sus universos de juguetes. Wolfram tenía tres terminales en su despacho, dos unidades autosuficientes, y la tercera conectada con el VAX que había en el sótano. A veces los

tres funcionaban al tiempo, pasando estructura tras estructura, escrutando los autómatas, tratando de hallar en ellos alguna lógica, de clasificarlos según su complejidad, longevidad y otros criterios. Wolfram observó cientos, miles, incluso decenas de miles de modelos de autómatas celulares, y con frecuencia se pasaba allí encerrado hasta bien entrada la noche, con las pantallas encendidas de sus ordenadores bañando la estancia en un suave resplandor azul.

Como en el caso de las sencillas estructuras del Juego de la Vida, cada autómata celular es una función de dos cosas: una configuración inicial de células y un juego de reglas para producir nuevas configuraciones a partir de las anteriores. Wolfram habla de «cuadrados» en lugar de «celdas» o «células», y de «pasos temporales» en lugar de «movimientos», pero, aparte de esto, los principios son, en términos generales, los mismos que los del Juego de la Vida.

«Se toma una línea de cuadrados», dice, «y cada cuadrado tiene un valor de cero o de uno, y la cosa sigue su curso a base de pasos temporales discretos. Después de un paso temporal se tiene una línea nueva de cuadrados. El valor de cada cuadrado concreto depende de su propio valor anterior y del valor de un par de cuadrados contiguos en el paso temporal anterior».

De modo que se comienza con una sola hilera de cuadrados y luego se pregunta cuál es el valor de los cuadrados de la línea anterior:



El valor de un cuadrado determinado se fija según el valor de los cuadrados de la línea anterior sobre la base de una regla. Wolfram establece esas reglas matemáticamente, pero la mayor parte de ellas son mucho más sencillas de lo que parecen. Por ejemplo, uno de los autómatas celulares más sencillos, se deduce de la regla siguiente:

$$a_i^{(t+1)} = [a_{i-1}^{(t)} + a_{i+1}^{(t)}] \text{ mod. } 2$$

en la que

$a_i$  es el cuadrado inicial,

$a_{i-1}$  es el cuadrado situado a su izquierda,

$a_{i+1}$  es el cuadrado situado a su derecha,

$t$  es tiempo, y

mod. 2 indica que la suma del valor de ambos cuadrados ha de ser reducido a módulo 2.

«Todo esto significa», explica Wolfram, «que el valor de cada cuadrado es la suma módulo 2 de los valores de sus dos vecinos contiguos en el paso temporal anterior. Dicho de otra forma, el valor de un cuadrado determinado en el paso temporal siguiente ( $t+1$ )

equivale a la suma de los valores en el tiempo  $t$  de  $a_{i-1}$ , que es el cuadrado situado a su izquierda, y del valor de  $a_{i+1}$ , que es el cuadrado situado a su derecha, reducido a mod. 2».

*Mod. 2.* Esto se refiere a la suma de dos números usando aritmética modular de base 2. Ya usamos aritmética modular constantemente, y la mayoría de nosotros sin darnos cuenta de ello siquiera. «La aritmética de reloj», por ejemplo, es suma de mod. 12: cuando se entra a trabajar a las nueve y se dedican ocho horas al trabajo, la suma resultante (9+8) no son las diecisiete, sino las cinco de la tarde. En la aritmética modular sólo se permiten números que son iguales o inferiores a la base de referencia. La suma de módulo 2, por consiguiente, funciona según la tabla:

$$0 + 0 = 0$$

$$1 + 0 = 1$$

$$1 + 1 = 0$$

En buen castellano, lo que significa la regla matemática recién expuesta es que, si los cuadrados  $a_{i-1}$  y  $a_{i+1}$  tienen valores distintos, el nuevo cuadrado tendrá el valor de 1; si los dos cuadrados tienen el mismo valor, el cuadrado nuevo tendrá el valor de 0. En este caso el valor del cuadrado nuevo es 0:

0	0	1	0	0
	?	0		

Para dar con el valor del siguiente cuadrado nuevo se utiliza exactamente la misma regla, aplicándola esta vez a los vecinos situados a izquierda y derecha del cuadrado que está encima. Se toma la suma de estos dos valores y se reducen a mod. 2.

Como  $(0+1) \bmod. 2$  es 1, el valor del nuevo cuadrado será 1. Si se aplica la misma regla una y otra vez a muchos cuadrados nuevos, comienza a emerger la estructura:

	0	0	0	1	0	0	0	
0	0	0	1	0	1	0	0	0
0	0	1	0	0	0	1	0	0

De esta manera el autómata crece a lo largo de muchos pasos temporales adicionales, produciendo en último término una estructura claramente compleja. Después de veintitrés pasos temporales, el resultado se parece a la Figura 8:

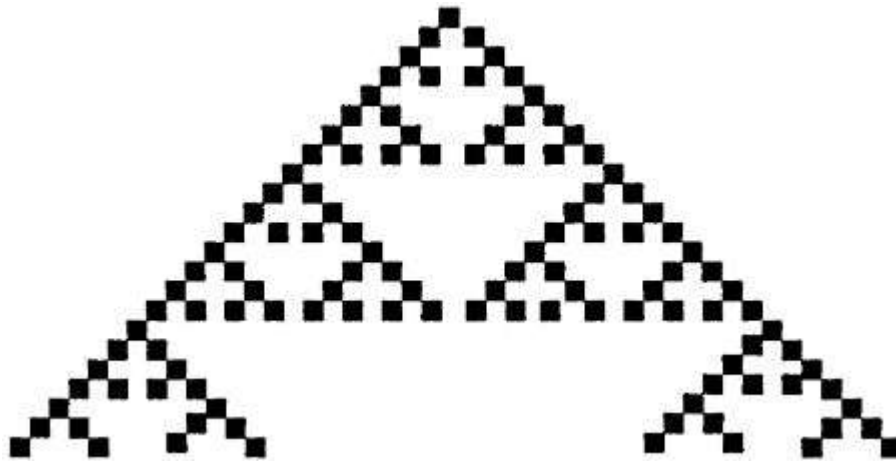
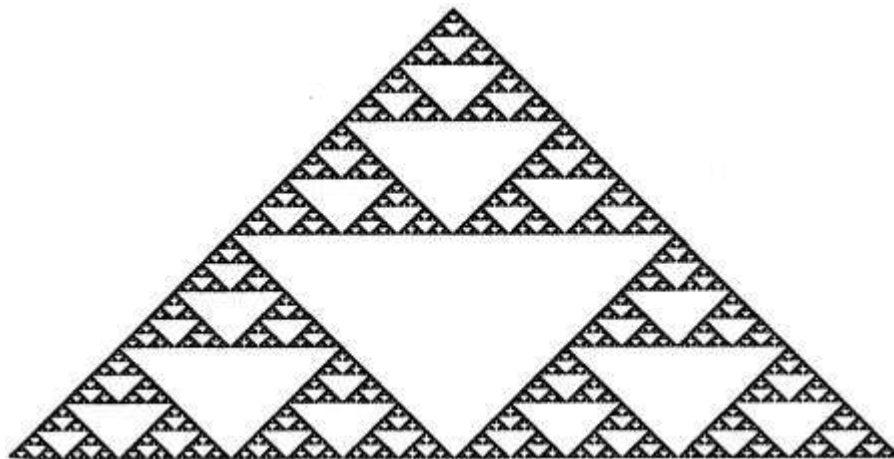


Figura 8. Modelo de autómatas celulares evolucionado a partir de un solo cuadrado, según la regla:  $a_i^{(t+1)} = [a_{i-1}^{(t)} + a_{i+1}^{(t)}] \text{ mod. } 2$

y después de unos cien pasos temporales, se parece a esto:



«Lo que esto muestra», dice Wolfram, «es que si se comienza con un solo cuadrado no nulo, la cosa crece espontáneamente hasta llegar a formar esta clase de estructura. Por sencilla que sea la regla que la formó, la estructura que genera es relativamente complicada».

La estructura es identificable para cualquier estudiante de matemáticas, por tratarse del triángulo de coeficientes binómicos de



Pascal, pero, a ojos de un biólogo, podría parecer la estructura de pigmentación de una piel de serpiente. «En realidad», dice Wolfram, «hay ejemplos en toda la física y en toda la biología de sistemas con este aspecto, que crecen exactamente de la misma manera: el crecimiento de los cristales, por ejemplo, el crecimiento de las células en los embriones, la organización de las células en el cerebro, y muchos otros. Lo importante es que los rasgos matemáticos que están haciendo mucho más complejos gran parte de los sistemas físicos del mundo».

Autómatas celulares, o algo parecido a ellos, podrían actuar incluso en nuestro propio ADN.

«El ADN es un programa muy sucinto para construir un ser vivo», dice Wolfram. «Una molécula humana tiene el mismo número de bits que las grandes unidades de disco que se pueden comprar ahora para ordenadores, y es muy sorprendente que se pueda construir algo tan complicado como una persona simplemente a partir de la información que contiene un libro de extensión mediana. De modo que es evidente que la naturaleza nos ofrece aquí una programación muy inteligente, y, en cierto modo, lo que impulsa el desarrollo de los autómatas celulares puede ser algo parecido».

«Por ejemplo», prosigue Wolfram, «podemos echar una ojeada a esas estructuras de conchas marinas y preguntarnos: “¿Cómo es posible que una estructura tan complicada esté codificada en su propio ADN?”. Pero si es éste el caso —cosa que todavía no sabemos con certidumbre—, o sea, si esas estructuras se generan por las mismas

reglas sencillas por las que se generan los autómatas celulares, resultaría bastante fácil comprender cómo esas reglas pueden estar codificadas en el ADN».

En el otoño de 1984, Wolfram se trasladó a las nuevas oficinas situadas en el tercer piso de Fuld Hall. El Instituto había preparado una suite para él y para el personal que le acompañaba, entre quienes estaban Norman Packard y Robert Shaw, dos físicos teóricos de la Universidad de California en Santa Cruz. Los dos estaban muy interesados en la teoría de sistemas complejos y en sistemas dinámicos, que despuntaban entonces como importantes ramas nuevas de la física.

El nido de águila en que ahora se encuentran tiene algo de buhardilla de artistas, gracias a las claraboyas practicadas en el largo tejado pendiente que se extiende sobre sus cabezas, y que dejan pasar una luminosidad tenue y difusa que parece no llegar de ningún sitio concreto, exactamente el tipo de luz precisa para impedir los reflejos en las pantallas de los ordenadores. Allí disponen de un IBM AT, de un Nova, de un Ridge 32, y de tres a cuatro centrales de Microsistemas Sun. Wolfram depende de ordenadores para su trabajo sobre autómatas celulares, pero a pesar de todo, no le gusta mucho programar. Programar es *aburrido*.

«Dedico mucho tiempo a la programación por ordenador —dice Wolfram—, pero no me gusta especialmente. De hecho, justo este fin de semana escribí unas dos mil líneas de código (...) que sirvieron fundamentalmente para que mi impresora láser imprimiera estos

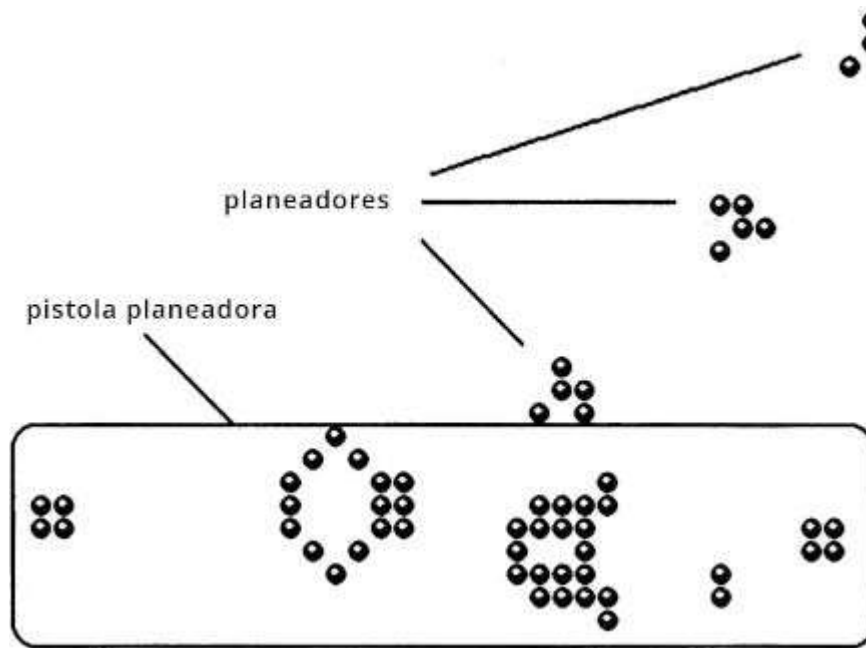
dibujos tan bonitos. Lo que me ocupó más tiempo fue encontrar un título apropiado. ¡Uf!».

Los ordenadores simulan las operaciones de los autómatas celulares, pero lo más sorprendente de esto es que podría ser al revés: los autómatas celulares podrían *ser* ordenadores.

«Algunos de estos autómatas son muy extraños y complicados», dice Wolfram, «y yo tengo una especie de extraña duda sobre ellos, y es si podrían ser utilizados como ordenadores universales. Partiendo de un estado inicial apropiado, quizá fuese posible codificar en ellos un programa y datos de tal manera que el autómata mismo emulase las operaciones de un ordenador digital general. Dicho de otra forma, podría existir algún estado inicial del autómata en el que éste se comportase como una máquina computadora».

La idea de Wolfram se remonta al Juego de la Vida, a John Conway y a Bill Gosper. Después de inventar el juego y de observar cómo crecían sus formas vitales, Conway se preguntó si habría alguna configuración finita de células de vida que siguieran creciendo sin límite alguno, hinchándose interminablemente como globos hasta llenar todo el universo de la vida. Él sospechaba que no la habría, y ofreció un premio de cincuenta dólares a quien fuese capaz de encontrar una estructura vital en perpetuo estado de proliferación. Martin Gardner anunció el reto en su columna de «Juegos matemáticos» de octubre de 1970, y apenas había pasado un mes cuando Bill Gosper cobró el premio: había descubierto su «pistola planeadora».

La pistola planeadora es una configuración de células de vida que vomita nuevas células a un ritmo regular. Es como si estuviera funcionando la creación espontánea, porque las nuevas células —«planeadores»— no hacen más que surgir y volar por su propia iniciativa, como balas vomitadas por una ametralladora. Una pistola planeadora en buen estado de funcionamiento podría transformar una configuración celular inicial de proporciones modestas en un fecundo universo de vida (véase la Figura 9).



*Figura 9. La pistola planeadora de Bill Gosper vomitando planeadores.*

Como Vida es un juego determinista que avanza guiándose por reglas deterministas, los planeadores emitidos se conducen de manera previsible. Si no encuentran otras formas de vida, continúan eternamente. Si chocan con otro planeador, dependerá

del ángulo de choque el que se aniquilen unos a otros o formen otras estructuras de tipo conocido, entre las que pueden contarse incluso nuevos planeadores. Esta previsibilidad, junto con el carácter discontinuo de las formas de vida, indujo a Conway a sugerir que las estructuras de vida podrían actuar a modo de ordenadores universales.

Al fin y al cabo el ordenador digital no es, en esencia, más que un ingenio capaz de reducir toda la información a estados binarios — por ejemplo: «en marcha» y «desconectado», cero y uno— y a funciones sencillas como Y, O, y NO. Conway se dio cuenta de que la combinación acertada de pistolas planeadoras y planeadores podría ser capaz de hacer todo cuanto hacen los ordenadores. Una corriente de planeadores y de espacios entre éstos podría sustituir a una sucesión de dígitos binarios, unos y ceros. Los choques de planeadores podrían ser circuitos lógicos, con la corriente de los planeadores inicial haciendo la función de datos de entrada, y los residuos resultantes del choque, en la de datos de salida. Si cinco planeadores chocan con cuatro planeadores, y el residuo resultante consta de veinte planeadores, lo que se tiene es una multiplicación. Pero si son diez los planeadores, y chocan con dos, y el residuo resultante son cinco, lo que se tiene es una división. En principio no había absolutamente nada que no pudiera ser llevado a cabo por la combinación acertada de pistolas planeadoras, planeadoras y otras formas de vida. La función de la memoria correría a cargo de configuraciones de distintas formas de vida sobre una vasta mescolanza de espacios celulares. Conway llegó incluso a

demostrar, matemáticamente, que el Juego de la Vida era, en lógica, suficiente para abarcar todas las funciones de un ordenador digital universal.

Aunque Conway demostró que el Juego de la Vida era capaz de computación universal en sentido teórico, nunca llegó a aglutinar en realidad un despliegue de formas de vida que funcionase como un ordenador. Los autómatas celulares son estructuras más variadas y potentes que las formas de vida, de modo que Wolfram pensó que debieran ser capaces de computación universal, y, en consecuencia, dedicó algún tiempo a buscar el autómata celular capaz de hacer cálculos.

No lo encontró, y por tanto, siguió el mismo camino que Conway. Conway había anunciado su reto al mundo a través de las columnas de la revista *Scientific American*, de modo que Stephen Wolfram decidió hacer lo mismo. En el número de mayo de 1985, A. K. Dewdney escribió en su sección «Recreaciones por ordenador»: «Wolfram sugiere que entre (los autómatas celulares) acechan auténticos ordenadores, vastas formaciones lineales de células pasando de un estado a otro en un abrir y cerrar de ojos y produciendo cualquier cálculo que pueda producir un ordenador tridimensional. A Wolfram, que actualmente está investigando la miríada de autómatas celulares monodimensionales, no le arredra la idea de pedir ayuda a los aficionados en esta empresa compleja y osada».

Bill Gosper no tardó más que un mes en resolver el problema de Conway, pero hasta la fecha nadie ha conseguido resolver el de

Wolfram, a pesar de la inundación de estructuras de autómatas celulares que no tardaron en llegar a sus oficinas de Fuld Hall. Un autómata celular que computa es, evidentemente, una estructura mucho más compleja y esquiva que una forma de vida que se limita a proliferar *ad infinitum*.

Wolfram, a pesar de todo, está más convencido que nunca de que la teoría de los autómatas es importante para el desarrollo de los ordenadores avanzados, sobre todo para las máquinas procesadoras en paralelo. Los ordenadores digitales convencionales se construyen sobre el principio de la «arquitectura en serie», lo cual quiere decir que todas las operaciones se ejecutan en la misma secuencia en serie, una detrás de otra. Como la corriente de electrones a través de los chips del ordenador va casi a la velocidad de la luz, la arquitectura en serie ha sido suficientemente rápida para la mayor parte de sus aplicaciones, pero hay una manera esencial en la que este tipo de estructura difiere del mundo en general, porque la naturaleza no actúa en serie, sino en paralelo. En el mundo real las cosas ocurren juntas, y al mismo tiempo, pues la naturaleza pone al día sus entidades simultáneamente y de un segundo para otro.

Los planetas del sistema solar, por ejemplo, se afectan recíprocamente por medio de sus campos gravitatorios, pero todos ellos ejercen su influencia de manera simultánea. No se trata de que el campo gravitatorio de Mercurio influya en Venus y *luego* Venus influya en la tierra, sino, por el contrario, que todos los planetas se afectan unos a otros al mismo tiempo. Para que un ordenador convencional en serie simule este tipo de dinámica planetaria sería

preciso que lo hiciera todo secuencialmente, calculando el efecto del primer planeta en el segundo, luego el del segundo en el tercero, y así sucesivamente. Pero un ordenador de procesamiento en paralelo se acercaría más a lo que realmente ocurre en el mundo real; si cada planeta estuviera representado por un procesador aparte, todos los procesadores funcionarían al mismo tiempo, y cada uno podría «sentir» simultáneamente la influencia gravitatoria de los otros.

El ordenador de procesamiento en paralelo no solamente obtendría sus respuestas más rápidamente, sino que sus principios mismos de operatividad, su propia estructura, se aproximarían a la del sistema exterior que trata de emular. Si, por ejemplo, un ordenador tuviera tantos procesadores individuales como células hay en el organismo vivo cuya conducta trata de reproducir, cada chip representaría una sola célula biológica, y el ordenador mismo «sería», en cierto sentido, la totalidad del organismo biológico. El procesamiento de la información de los ordenadores reflejaría, en ese caso, la estructura, la forma y la evolución del organismo con una especie de fidelidad que es imposible de conseguir con ordenadores corrientes de arquitectura en serie.

Para Wolfram, lo intrigante de los autómatas celulares es que muestran todos los indicios de ser modelos naturales abstractos tanto de los fenómenos físicos en todo su paralelismo como de los ordenadores de procesamiento en paralelo que están preparándose ahora. Es como si los autómatas celulares fueran análogos a la naturaleza misma, y al tiempo a la mente que la observa. Tanto la



naturaleza como los ordenadores son mecanismos que procesan información: la naturaleza actúa a partir de una serie de condiciones iniciales frente a una serie de condiciones finales, mientras los ordenadores actúan a partir de datos de entrada para obtener datos de salida.

La naturaleza actúa según leyes físicas, y los ordenadores actúan según las instrucciones contenidas en sus programas. Pero los autómatas celulares son modelos de *ambos* procesos, pues las posiciones iniciales de un autómata celular corresponden en igual medida a las condiciones iniciales de la naturaleza y a la información inicial contenida en un ordenador. La evolución de los autómatas, además, se corresponde con las operaciones de un ordenador y con la evolución de la naturaleza misma. Y, finalmente, la regla de desarrollo del autómata celular se corresponde con la ley natural por un lado y con el programa del ordenador por el otro.

La propia naturaleza, dicho de otra forma, puede ser un gran ordenador, y en su programación puede haber mecanismos semejantes a los autómatas celulares. Autómatas celulares, el software del universo.

La principal actividad de Stephen Wolfram es la investigación científica abstracta. «Si yo quisiera ponerme a ganar mucho dinero», dice en su despacho del Instituto, «dejaría de dedicarme a la investigación. Pero la investigación me interesa más que ganar dinero».

Ganar dinero, sin embargo, es el pasatiempo de Wolfram. «Hay gente que se entretiene haciendo muebles y vendiéndolos», dice,

«pero yo lo que hago es desarrollar aplicaciones prácticas de informática y venderlas».

En primer lugar están las tarjetas postales de autómatas celulares: seis autómatas distintos, a todo color, que casi parecen vivos, y cada uno de ellos se describe en el reverso de la tarjeta. «El color de cada célula está determinado por una sencilla regla matemática a partir del color de las células vecinas situadas en la línea superior». En el fondo de la tarjeta hay una declaración de la regla matemática que dio origen a la estructura: «Regla 522809355 = 2032314344410<sub>5</sub>», y luego, la declaración de derechos de autor: «© 1984 Stephen Wolfram». En la otra cara de la tarjeta hay una imagen de un autómata celular, cuyos colores corresponden a los valores de cada cuadrado. Las tarjetas abarcan toda la gama del universo de autómatas celulares, en la que está incluido el copo de nieve celular.

Norman Packard, colega de Wolfram, creó un copo de nieve celular a partir de una regla hexagonal («Regla hexagonal 42 = 101010<sub>2</sub>», dice la tarjeta), y el resultado, en azul, rojo y púrpura sobre un fondo negro, es surrealista. Cuando Wolfram publicó un artículo en el número de septiembre de 1984 del *Scientific American* («Computer Software in Science and Mathematics»), el copo de nieve a todo color ocupaba casi una página entera. En el mismo mes, la revista *Omni* publicó un artículo en el que se calificaba a Wolfram de «el nuevo Einstein». Un mes más tarde, en octubre del mismo año, la revista *Nature* publicaba en portada siete fotografías a todo color de autómatas celulares, y en páginas interiores había un artículo de

Wolfram titulado: «Cellular Automata as Models of Complexity». Todo parecía indicar que Stephen Wolfram había triunfado.

Wolfram mandó imprimir una circular en la que se describían sus tarjetas postales —y también los pósters de autómatas celulares, que eran mucho más grandes y que también estaba pensando en comercializar— y la hizo distribuir en conferencias, reuniones y actos por el estilo. Algunos de los veteranos del Instituto se sintieron algo sorprendidos ante la perspectiva de que su Cielo Platónico extraterrenal se volviese un almacén de distribución de gráficos de ordenador de venta por correo, pero lo cierto es que Wolfram no veía las cosas de esta manera. No iba a ganar dinero vendiendo tarjetas postales: su coste de producción era casi tan alto como el de venta. Vender tarjetas postales no era para él más que una diversión.

Pero las tarjetas postales no fueron más que el comienzo. Tenía también otras ideas sobre autómatas celulares: por ejemplo, para diseños de papel de pared, murales, etc., y en esto lo esencial no era solamente ganar dinero, sino también llamar la atención del mundo sobre los autómatas celulares.

«Una de las cosas que he querido hacer es tratar de utilizar los autómatas celulares para crear alguna especie de arte por ordenador», dice Wolfram, «y la verdad es que abrigo un pequeño proyecto que no tardará en ser realidad... Bueno, os diré, hay un grupo en el Instituto de Tecnología de Massachusetts que ha construido una máquina de pintura por aspersion controlada por ordenador. Produce imágenes de medio metro por uno y medio, y

tengo entendido que tarda unas doce horas. Está en un almacén de Cambridge, y en los dos meses próximos vamos a hacer enormes murales de arte por ordenador. Luego hay ciertas ideas divertidas, como, por ejemplo, crear un vasto panorama de autómatas celulares que se pueden fijar a la pared de un edificio. Por desgracia, esto último no parece factible por una cantidad accesible de dinero».

En la primavera de 1986, la idea de los autómatas celulares había salido ya del círculo cerrado de los científicos, llegando al mundo del arte. «Hace un mes o cosa así», dice Wolfram, «recibí una carta en la que se me invitaba a una exposición de arte en Nueva York; era una exposición basada en autómatas celulares». Tuvo lugar en la galería llamada Cash-Newhouse, en el Greenwich Village. Wolfram fue a la exposición. «Fue bastante interesante. Yo había pensado que sería aburrida, pero lo cierto es que los cuadros eran bastante bonitos».

Por mucha libertad que el Instituto de Estudios Avanzados diera a sus miembros, la verdad seguía siendo que el Instituto no era el mejor lugar del mundo para residencia de los que tuviesen una idea comercial de la ciencia. Wolfram tenía ciertas ideas sobre la posibilidad de programar un gran ordenador de procesamiento masivo en paralelo, y, en vista de ello, trabajó durante algún tiempo en la empresa Thinking Machines, en Cambridge, estado de Massachusetts, que estaba desarrollando un ordenador llamado «The Connection Machine». Este aparato era en gran medida idea de Danny Hillis, y su objetivo era que acabase teniendo un millón de procesadores ensamblados en paralelo, creándose de esta manera algo que se parecería más a un auténtico cerebro biológico que

cualquier ordenador inventado hasta entonces. De aquí su nombre: «Máquina de conexión». Durante algún tiempo, los artículos científicos de Wolfram remitían al lector dos afiliaciones del autor: el Instituto de Estudios Avanzados y la Thinking Machines Corporation, y a veces ésta salía mencionada en primer lugar. No era, naturalmente, que hubiese ningún mal en ello, pero Wolfram estaba empezando a comprender que estaría mejor de dinero y tendría mayor sensación de libertad para poder hacer lo que le viniera en gana yéndose del Instituto. Y mejor aún sería poder disponer de un instituto entero para él solo.

En septiembre de 1985 Wolfram preparó un artículo de dos páginas con el título: «Plans for an Institute for Complexity Research». El documento describía un instituto con una dotación de una docena de científicos veteranos y otra docena de becarios postdoctorales, además de personal de apoyo técnico y administrativo, todos ellos dedicados por entero a la investigación fundamental de la teoría de la complejidad. El instituto que Wolfram se imaginaba se dedicaría a la comercialización de cualesquiera ideas que tuviesen aplicaciones concretas.

«La investigación fundamental sería el objeto esencial del Instituto de Investigación de la Complejidad», escribió Wolfram. «En último término, lo más importante sería probablemente el desarrollo de principios muy generales de complejidad. Pero, al trabajar buscando esos principios, lo esencial es mantener contacto con verdaderas aplicaciones de problemas existentes. Con frecuencia valdrá la pena llevar a cabo esas aplicaciones al extremo de entrar en contacto con

la tecnología práctica. Este Instituto (es decir, el instituto de Wolfram, no el Instituto de Estudios Avanzados) podría a veces, por lo tanto, actuar en contacto con el desarrollo tecnológico, posiblemente en asociación con laboratorios o corporaciones externas. Nuevas tecnologías de importancia podrían conducir perfectamente a la creación de empresas derivadas de estos contactos.

El nuevo instituto, tal y como Wolfram lo concebía, estaría vinculado a una universidad importante, a fin de mantener contacto con miembros del profesorado especializados en muchos otros sectores de la ciencia, así como también para poder abastecerse de estudiantes de alta calidad en número suficiente. Estaría sufragado por algún donativo importante, que se utilizaría a modo de dote fundacional, o bien por subvenciones de alguna universidad, corporaciones, departamentos del gobierno o cualquier combinación de todo esto. Y de toda esta actividad fluiría investigación científica de primera línea, así como importantes innovaciones tecnológicas que generarían ingresos económicos para sus subvencionadores y para el personal. Wolfram ya había trabajado en la creación de un sistema criptológico impenetrable basado en autómatas celulares que producen estructuras aleatorias, y tenía también en preparación muchas otras cosas.

En la primavera de 1986, Wolfram estuvo en contacto con unas veinte universidades que habían mostrado interés en proveer un local para el nuevo instituto. La única cuestión era dónde instalarlo. «Las mejores oportunidades, en términos de financiación y demás»,

dijo por entonces Wolfram, «están en el Medio Oeste, pero ¿a quién se le ocurre ir allá? La gente está dispuesta a ir a San Francisco, o a Cambridge, porque son sitios bonitos para vivir, pero ¡mira que al Medio Oeste!».

En el otoño de 1986, a pesar de todo, Wolfram abandonó el Instituto de Estudios Avanzados y se trasladó a Champaign, en el estado de Illinois. ¡Ya tenía *su propio instituto!*, el Centro de Investigación de Sistemas Complejos, emplazado en la Universidad de Illinois. Se llevó consigo a todo su grupo de sistemas dinámicos de Princeton: Norman Packard, Robert Shaw, Gerald Tesauero, y unos pocos más, y hoy en día todos ellos se encuentran instalados en un edificio moderno, bajo, de ladrillo, en el campus de la Universidad de Illinois, entre quince terminales centrales Sun, diversas impresoras láser y el resto del equipamiento que es propio de un pequeño imperio de sistemas complejos. Tienen también enlace informático con una Cray XMP, uno de los superordenadores más grandes y rápidos del mundo entero, que está instalado pared por medio, en el Centro Nacional de Aplicaciones de Supercómputo. Teniendo en cuenta las circunstancias, hay que convenir que a Stephen Wolfram las cosas no le han salido mal del todo.

«El paisaje aquí no es tan bonito como en el Instituto», confiesa Wolfram, «no tenemos ante las ventanas más que un par de árboles, no un bosque entero».

Como es natural, no todo el mundo piensa que los autómatas celulares son el futuro. «Son unas imágenes muy bonitas, eso desde

luego», dice Deane Montgomery, matemático del Instituto de Estudios Avanzados, como quitándoles importancia.

«Wolfram tiene la idea de que, de la manera que sea, llegará a ser capaz de comprender la complejidad», dice Freeman Dyson, «y que la complejidad del mundo real se refleja en los autómatas celulares. Es una jugada arriesgada».

El riesgo está en que la relación entre las estructuras producidas por los autómatas celulares y las producidas por la naturaleza sea casual y no esencial. Todo el asunto podría no ser más que una gran coincidencia. Pero Wolfram ha visto ya demasiados paralelismos y demasiadas relaciones profundas entre esos mecanismos abstractos y la naturaleza misma para pensar que todo ello se va a esfumar en pura niebla de simple casualidad. Cuanto más trabaja en esto tanto más profundas y amplias se vuelven esas relaciones, y Wolfram da la impresión de no hacer apenas otra cosa que trabajar.

Vi a Stephen Wolfram en el Instituto de Estudios Avanzados un bello día de primavera de 1986. Estábamos los dos a la entrada del Fuld Hall, mirando la vasta pradera herbosa que se extendía ante nosotros y donde, en otros tiempos, Toni Oppenheimer, la hija menor de Robert, solía montar a caballo. El sol se ponía detrás de los árboles, arrojando una brillante luz naranja oscuro sobre las nubes, y Wolfram, como siempre, me hablaba de su trabajo, de sus planes para la investigación de autómatas celulares, del futuro de la teoría de sistemas complejos, de que se pasaba un promedio de



trece días al mes viajando de una conferencia científica a otra y de muchas otras cosas por el estilo.

Como de costumbre, yo estaba asombrado, impresionado, aturdido por el intelecto de aquel hombre y por su tremenda capacidad de trabajo.

Por fin no pude menos que hacerle una pregunta que llevaba tiempo intrigándome:

—Y con tanto viajar y tanto trabajar y tanta ciencia..., ¿te queda tiempo para hacer vida social? Chicas, en fin, cosas de ésas...

—Sí, claro que sí —me contestó Wolfram—, una vez que se interesa uno por los sistemas complejos, resulta que no hay nada más complejo en todo el mundo.

## Sección 11

### Más allá de lo invisible

Desde hacía algún tiempo se habían corrido rumores de que era posible que esto fuese *lo decisivo*, es decir, la nueva teoría del universo, o sea, la teoría de *todo*. Ed Witten iba a dar una conferencia en el Instituto de Estudios Avanzados, una charla en la que, posiblemente, se perfilase la única y verdadera teoría de la naturaleza.

Éste era el rumor. Pero incluso en el caso de que no fuese verdad, incluso si resultaba que en ella no se presentaba la teoría de todo, la charla de Witten iba a ser excepcional porque en un Instituto cuyos habitantes son pura y simplemente elegidos sobre la base de su inteligencia, sobre la base de la calidad de su mente, Edward Witten pasaba por pertenecer a un nivel más alto desde todos los puntos de vista. Los científicos no suelen decir cosas como: «Aquí tenemos otro Einstein» —ése es, más bien, un tipo de exageración propio de periodistas—, pero, a pesar de ello, ninguno tenía el menor reparo en reconocer que Witten era, en el peor de los casos, bueno..., extraordinariamente inteligente.

Es lunes, 12 de noviembre de 1984, y la gente se apretuja en la sala de conferencias a la espera de ver si los rumores van a hacerse, finalmente, realidad. Ed Witten está a punto de pronunciar la conferencia anual en memoria de Marston Morse, que es el nombre de un difunto matemático del Instituto de Estudios Avanzados. La conferencia se celebra en la sala de la biblioteca nueva, justo detrás

de donde solía estar el despacho de Kurt Gödel. Es una estancia tremendamente moderna, equipada con pizarras eléctricas, paneles de pizarra que suben y bajan solos con sólo apretar un botón, para dar al conferenciante más espacio en el que escribir. Hay muchos matemáticos entre los presentes, ya que la charla está patrocinada por el Departamento de Matemáticas del Instituto, pero también parece estar allí todo el contingente de físicos de partículas de Princeton, además de un grupo de astrónomos. En fin, que la estancia está repleta de gente, con unas doscientas cabezas de las mejores que se cuentan en el mundo de la ciencia. Esperan, todos ellos esperan a ver si se les va a brindar la teoría final del universo. Por el título, «Teoremas de índice y supercuerdas», resulta imposible adivinarlo.

John Milnor aparece a la hora precisa y presenta a Ed Witten — aunque la verdad es que no hace ninguna falta que le presenten a esos oyentes—, y entonces Witten empieza a hablar. El tiempo está estrictamente distribuido, y él no quiere pasarse del límite que le ha sido impuesto, de modo que habla muy deprisa, con voz baja, algo chillona, y hay que estar muy atento para poder seguirle, sobre todo a este ritmo. De su boca salen palabras y ecuaciones en un torrente incesante, como por propia iniciativa, como si Witten mismo no fuese capaz de poner freno a este chorro de símbolos y terminología ni aunque se lo propusiese.

Witten habla durante toda una hora, y luego se calla de repente, diciendo, casi como un pensamiento del último momento, que ésta es su nueva teoría del universo.

Sus oyentes siguen todos sentados como esfinges, en un silencio profundo y atónito.

John Milnor invita a hacer preguntas...

Pero nadie quiere hacer preguntas. Es como si una ola hubiese barrido las cabezas de todos los intelectos allí congregados, que están tratando de recuperar el aliento. Acaban de contemplar la nueva visión de la naturaleza, la clave del cosmos, el secreto de la creación: ha sido desvelado ante ellos en todos sus minuciosos detalles técnicos, pero las mentes de los oyentes están vacías y confusas, ebrias, *tabula rasa*. De vez en cuando logran identificar alguna que otra frase reconocible: «tensor», «fermión zurdo», «grupos gauge de Yang-Mills», y otras por el estilo, pero la mayor parte de lo que acaba de decir Witten les ha resultado tan nuevo, tan extraño, que es como si lo hubiera dicho en la lengua de los indios navajos.

«Una introducción a las supercuerdas debiera haber constado de cincuenta conferencias y no de una sola», dijo más tarde Ed Witten, «de modo que no me fue posible explicar más que unos pocos de sus aspectos».

Casi un año más tarde, el 10 de octubre de 1985, Ed Witten da otra conferencia en el Instituto de Estudios Avanzados. Formará parte de una serie, no de una serie de cincuenta, pero, de todas formas, de «unas cuantas», según las notas que se leen en los tableros de avisos: «El profesor E. Witten (Universidad de Princeton) dará unas cuantas conferencias sobre el tema: “*Introducción a cuerdas sencillas para no físicos*”». Ante todas estas precisiones: *Introducción a cuerdas sencillas para no físicos*, se podría pensar

que cualquiera estará en condiciones de entenderle, de que incluso un niño será capaz de seguir una *introducción* a cuerdas *sencillas* para *no físicos*.

La charla tiene lugar en la misma estancia que el año anterior, y Ed Witten habla ahora paseándose de un extremo a otro de las grandes pizarras, mientras la sala se va llenando. Es alto y delgado, con una masa de pelo negro estilo afro y un rostro largo con pequeñas gafas de montura negra de carey. Tiene treinta y cuatro años.

No tarda en haber alrededor de cien personas apretujadas en la sala de conferencias: los físicos de partículas, Adler, Dashen, Dyson y todo su contingente de postdoctorales, los astrofísicos, Bahcall, Don Schneider, y todos los demás; y, naturalmente, los matemáticos, Montgomery, Langlands, Bombieri, y los otros. También está en el auditorio Louis Witten, el padre de Ed Witten.

No se trata, simplemente, de un alarde de amor paternal. Louis Witten es también físico teórico, especialista en la teoría de la gravedad, y desde hace largo tiempo es miembro, administrador y vicepresidente de la Fundación de Investigación de la Gravedad de Gloucester, estado de Massachusetts. Esa fundación fue creada en la década de los cuarenta por el magnate de la Bolsa Roger Babson para estimular a los científicos a dar con una manera de controlar la fuerza de la gravedad. Babson pensaba que sería posible crear una protección contra la gravedad, o una máquina antigravitatoria del tipo que fuese, capaz de encauzar la gravedad para fines más constructivos que el elemental de dejar caer las cosas, tenerlas sujetas en tierra, y todo eso. En 1949, la Fundación comenzó a

patrocinar un concurso anual de ensayos con premios de hasta mil dólares, por artículos científicos en los que se formulase «algún método razonable de encauzar la fuerza de la gravedad». Cinco años más tarde, dos jóvenes miembros del Instituto, Stanley Deser y Richard Arnowitt, presentaron un artículo titulado «The New High-Energy Nuclear Particles and Gravitational Energy», que ganó el primer premio y les valió los mil dólares. Oppenheimer, que era entonces director, no pensó que esta conducta fuera propia de físicos del Instituto, y se lo hizo saber así con toda claridad, pero, por lo menos, no les obligó a devolver el dinero.

Más tarde la Fundación se dedicó a fomentar un tipo de investigación más convencional sobre la fuerza de la gravedad, y por aquellos días incluso los físicos más respetables del mundo competían en sus concursos, entre ellos el astrofísico británico Stephen Hawking, que ganó el primer premio en 1971. El caso es que Louis Witten ha venido al Instituto de Estudios Avanzados para aprender la teoría de las supercuerdas, que, por ser una *teoría de todo*, incluye en sus miras, como es natural, la fuerza de la gravedad. Ésta es la teoría que el hijo de Witten tratará ahora de explicar una vez más al grupo de miembros del Instituto reunidos allí para oírle, pero esta vez la expondrá de modo que pueda ser comprendida por los «no físicos» que se encuentren en el auditorio.

Llega la hora convenida —las nueve y media de la mañana— y Ed Witten comienza de nuevo a hablar con su voz tenue, como si estuviera hablando desde el interior del túnel de Holanda o desde dentro del anillo principal de un acelerador de partículas. Habla sin

notas, yendo de un extremo a otro de la tarima, ante las pizarras, cuya superficie llena de ecuaciones de memoria. Hace preguntas, algunas de lo más desconcertantes, como: «¿Por qué tendría un mundo decimensional aspecto de mundo tetradimensional?», y sugiere a continuación las respuestas, como, por ejemplo: «La naturaleza comenzó con algo mayor que lo que observamos, y luego substrajo algo». Pero estas observaciones son simples apéndices de las ecuaciones, que es donde se dilucida el verdadero tema de la charla, esto es: la teoría de supercuerdas.

Witten escribe ecuación tras ecuación en la pizarra, acabando enseguida con todo el espacio disponible. Las fórmulas aluden a cosas como espinores, quiralidad positiva, operadores Dirac y alfa prima. Levanta eléctricamente uno de los paneles de la pizarra y escribe más ecuaciones, alrededor de cuarenta y cinco cuando llega la hora de terminar. Poco a poco va viéndose con claridad que la «Introducción a cuerdas sencillas para no físicos» quiere decir en realidad «Charla que los matemáticos teóricos avanzados podrían, quizá, comprender».

Cuando da la hora, Ed Witten deja la tiza, deja de hablar y brinda a su auditorio una vacilante sonrisa. Todos prorrumpen en una explosión de aplausos, y Louis Witten aplaude más que nadie y sonrío a su hijo, el supercuerdista.

Esta vez no hay moderador, pero surgen del auditorio un par de preguntas. Esta vez, evidentemente, la gente ha venido preparada. Han leído algunos de los artículos de Witten y saben más o menos de qué va el asunto ése de las supercuerdas. Han venido a la

conferencia sabiendo que las supercuerdas son, como quien no dice nada, los nuevos ladrillos con que está construido el universo.

Las supercuerdas pueden acabar siendo una de las preocupaciones más grandes que ha sufrido el mundo de la física en toda su historia. Ed Witten mismo dice: «Todavía estamos en las fases relativamente tempranas de una revolución científica que sólo puede compararse con la invención de la mecánica cuántica. Se trata de un vasto proceso que va a cambiar todo lo que conocemos en física teórica a un nivel realmente básico. Esto, naturalmente, llevará décadas. Es posible que ninguno de nosotros viva para verlo cuando llegue realmente a lograrse. Pero lo cierto es que, para un físico, las supercuerdas son la vida misma».

Las supercuerdas, las nuevas entidades de la física teórica, son diminutos rizos unidimensionales de algo (no preguntéis de qué) que llevan camino de desplazar el antiguo concepto de las partículas elementales. Las partículas elementales —electrones, quarks y todo lo demás— solían ser consideradas como puntos adimensionales, puntos sin tamaño ni volumen. Pero ya no son adimensionales, porque ahora tienen por lo menos una dimensión, que es la longitud. Y ya no son puntos, porque ahora tienen forma: pueden ser vistas como cuerdas abiertas, semejantes a un cordón de zapato estirado, o bien pueden ser cuerdas cerradas, como el nudo de un lazo. Sea cual fuere su forma, sin embargo, estas cuerdas tienen la propiedad de que, cuando vibran, se comportan como partículas. Se piensa que los distintos modos de vibración —frecuencias, amplitudes, direcciones, y así sucesivamente— producen toda una



panoplia de partículas elementales. Esta nueva teoría dice también que, en sus niveles estructurales más sutiles, más profundos, el mundo no está compuesto de puntos sin tamaño ni volumen, sino de cuerdas finitas que laten y se erizan de tal manera que *parecen partículas*. Pero si fuese posible parar las vibraciones, se verían las entidades subyacentes tal y como son. No son «partículas», en absoluto: son cuerdas.

Si la teoría de supercuerdas se limitase a cambiar nuestra idea de lo que es una partícula elemental, ya habría conseguido desbancar un concepto de la estructura atómica que se remonta a unos setenta y cinco años. Pero la cuestión es que la teoría de supercuerdas promete hacer mucho más que esto: en realidad puede llegar a llevarnos a lo que es desde hace medio siglo el santo grial de la física, puede llevarnos a la Gran Teoría de la Unificación, a la «Teoría Universal».

En estos últimos cincuenta años los físicos han aceptado dos teorías distintas partiendo de la idea de que, entre ambas, abarcan todas las leyes fundamentales de la física: la mecánica cuántica y la relatividad general. La teoría cuántica abarca las pequeñas escalas, la relatividad las grandes. Lo malo ha sido siempre que, aunque ambas teorías, juntas, son exhaustivas, en el sentido de que comprenden la naturaleza entera, son también recíprocamente exclusivas, en el sentido de que la una no encaja en la otra. Esto resulta bastante desconcertante. La naturaleza es un conjunto total y autocomplaciente de pies a cabeza —por lo menos esto es lo que han pensado siempre los físicos—, pero las dos teorías que mejor lo

describen no acaban de encajar entre sí, no acaban de entenderse. Es como si la naturaleza estuviera mareándonos con una pequeña broma cósmica.

Pero he aquí que, de pronto, la teoría de supercuerdas da la impresión de que quizá pueda cambiar todo esto. Su estructura matemática básica promete una imagen unificada de lo grande y lo pequeño, y si la teoría acaba justificando su promesa, nos encontraremos con que tenemos a mano la milagrosa unificación. Será como un regalo, como conseguir algo sin dar nada a cambio. La tan buscada unificación se desgajará pura y simplemente de la teoría como resultado de su misma consistencia matemática. «Las cuerdas son una parte de la física del siglo XXI que cayó por pura casualidad en el siglo XX, ha dicho Ed Witten. Y así de mágico parece ser todo este asunto.

La parte más extraña de la teoría de supercuerdas es que es tan puramente matemática como física. Lo que sí es seguro es que nadie ha conseguido *observar* hasta ahora una de estas cuerdas, y es casi igual de seguro que nunca se conseguirá. Esas cuerdas son, pura y simplemente, demasiado diminutas.

Es posible «ver» las partículas elementales en el sentido de que sus huellas aparecen en los aceleradores de partículas, máquinas gigantescas como las del Fermilab, en Batavia, estado de Illinois, y de CERN, en Suiza. Haciendo chocar partículas entre sí a altísimas energías los experimentalistas pueden observar las huellas de entidades cuya pequeñez llega a  $10^{-13}$  centímetros; cualquier cosa menor que esto es actualmente invisible, aunque pronto, con la

aparición de un tipo nuevo de acelerador de partículas llamado «supercolisionador superconductor», se podrán resolver partículas más pequeñas todavía. Pero lo que ocurre es que las cuerdas son aún más pequeñas, muchísimo más. Existen a una escala de  $10^{-33}$  centímetros. Para que los experimentalistas consiguieran verlas sus aceleradores tendrían que tener un tamaño equivalente *a años luz* de punta a punta. Las cuerdas, por consiguiente, son peor que invisibles: es como si estuvieran escondidas de nosotros permanentemente y en principio en los intersticios más sutiles de la naturaleza, como si estuvieran ocultas a los ojos inquisitivos de los físicos de talante empírico; como si la naturaleza nos dijera: «¡No miréis, *pensad!* ¡Al diablo los aceleradores, lo que tenéis que hacer es fiaros de las ecuaciones!».

Por supuesto, a los científicos de mentalidad empírica, este mensaje no les hace mucha gracia.

«Por primera vez desde los siglos oscuros», dicen los físicos de Harvard, Paul Ginsparg y Sheldon Glashow, «podemos ver cómo acabará quizá nuestra noble búsqueda: la fe volverá a ocupar el lugar de la ciencia».

«Si los “extremistas de las supercuerdas” resultan tener razón», dice Álvaro De Rújula, que trabaja en el CERN, «desaparecerá para siempre buena parte del atractivo de nuestra disciplina, que consiste en hacer predicciones empíricamente comprobables y apostar sobre los resultados de los experimentos».

Pero lo que pierden los experimentalistas lo ganan los teóricos. Las supercuerdas son, en realidad, un gran regalo para los físicos de

partículas del Instituto de Estudios Avanzados. Ya no tendrán que perder el tiempo con aceleradores ni esperar impacientes a que les comuniquen por teléfono los resultados de los experimentos; a partir de ahora lo único importante será que salgan bien las ecuaciones, comprender la geometría de cada problema, mantener todas las opciones abiertas en todo momento. Las supercuerdas son la forma física platónica. Abstractas, remotas, permanentemente invisibles, son entidades casi ocultas, y esto quizá explique la razón de que los físicos de partículas del Instituto contemplan la teoría de supercuerdas con la expectación de quien espera de ellas que le lleven a la diestra de Dios.

Ed Witten divide la historia de la teoría de supercuerdas en tres períodos distintos, que él llama «Increíblemente Primitivo», «Muy Primitivo» y «Probablemente Todavía Primitivo». La era Increíblemente Primitiva comienza en 1968, con el intento de un físico italiano de comprender la «interacción fuerte». La «interacción fuerte», que es la fuerza más poderosa de la naturaleza, es lo que mantiene juntas las partículas de carga igual frente a las repulsiones eléctricas que, de otra forma, las separarían. Los protones del interior de los núcleos, por ejemplo, están siempre cargados positivamente, y, como cargas eléctricas iguales se repelen, los protones debieran estar huyendo unos de otros en violenta explosión, pero lo cierto es que, por el contrario, se mantienen juntos como si estuvieran pegados con cola nuclear, la causa de esto es la interacción fuerte.

Aunque su funcionamiento no era bien comprendido en la década de los años sesenta, sí se sabía que la interacción fuerte estaba presente en toda una clase de partículas elementales cuyo nombre colectivo era «hadrones», de los que por aquel entonces se conocía más de un centenar de ejemplos. Los hadrones tenían la cualidad de que, cuando su momento angular se representaba gráficamente en función del cuadrado de su masa, las curvas resultantes constituían líneas relativamente rectas.

Estas curvas recibieron el nombre de «trayectorias de Regge», por Tullio Regge, un físico del Instituto de Estudios Avanzados que fue su descubridor.

En 1968, el físico italiano Gabriele Veneziano, que estaba entonces en el Instituto de Ciencia Weizmann, de Israel (y que fue más tarde miembro invitado del Instituto), publicó un artículo que sometía las trayectorias de Regge a tratamiento matemático. Veneziano había elaborado un grupo de ecuaciones que podían ser utilizadas para generar las curvas rectas de Regge. Esto era interesante ya de por sí, pero más interesantes todavía fueron las consecuencias a que dio lugar, porque, un año después, otros teóricos, empezando por Yoichiro Nambu, de la Universidad de Chicago, se dieron cuenta de que las ecuaciones de Veneziano eran compatibles con un nuevo concepto de partículas elementales: en lugar de ser consideradas como puntos adimensionales, las partículas podían poseer extensiones espaciales definidas. En una palabra, podían ser consideradas como líneas, esto es, como «cuerdas».

Según el modelo Veneziano-Nambu, estas cuerdas consistían en equilibrios sutilmente ajustados de fuerzas opuestas: de tensiones que tiraban de los extremos de las cuerdas para mantenerlas juntas en oposición a aceleraciones que tendían a mantenerlas separadas. La cuerda estaba en movimiento, como la hélice de un avión, y las fuerzas llamadas centrífugas que tiraban de sus extremos para mantenerlos separados estaban equilibradas con exactitud por la tensión hacia adentro inherente en la cuerda. Este tirón hacia adentro era fortísimo, de unas trece *toneladas* por cuerda. Era como si se pudiera colgar el peso de media docena de Cadillacs de una sola de estas cuerdas sin que la cuerda se rompiera..., lo cual, de ser verdad, sería un logro realmente notable en vista de que cada cuerda pasaba por tener grosor cero.

La idea de presentar partículas subatómicas como si fueran cuerdas era completamente nuevo en física teórica. Había muchas razones técnicas (por no decir también históricas, filosóficas y estéticas) que inducían a los teóricos de partículas a representar siempre las partículas elementales como puntos adimensionales, de modo que este nuevo concepto de que las partículas estaban extendidas en el espacio resultó, en el mejor de los casos, completamente inesperado. A pesar de todo, el modelo de cuerdas tenía un par de cosas a su favor. Una era que daba un sentido a las curvas de Regge. Y otra que la hipótesis de las cuerdas brindaba un modelo aceptable para el «confinamiento de los quarks», o, lo que es lo mismo, explicaba la razón de que los experimentalistas nunca

hubieran visto quarks en sus aceleradores, sino solamente partículas más grandes, compuestas de quarks.

De las tres partículas del átomo —electrones, protones y neutrones—, sólo una, el electrón, se considera hoy en día «elemental», lo que significa que no se compone de ningún otro ingrediente básico. De las otras dos partículas se piensa que se componen de entidades más primarias: los quarks. Un protón, por ejemplo, se considera que consta de tres quarks. Uno de los principales problemas del modelo de quarks, sin embargo, es que los quarks, considerados individualmente, nunca han sido vistos en el laboratorio. Por mucho que lo intentan, los experimentalistas no consiguen aislar quarks en sus aceleradores de partículas, y esto ha inducido a los teóricos a conjeturar que los quarks tienen que estar aprisionados («confinados»), de la manera que sea, en el interior de las partículas de mayor tamaño.

Pero la cuestión es ¿cómo? Éste era el problema del confinamiento de los quarks, y las teorías ofrecían diversos modelos de soluciones posibles. Había, por ejemplo, el modelo de la «bolsa», según el cual los quarks estaban cogidos como en una trampa dentro de contenedores de los que no había escape posible.

El modelo de la cuerda representaba una alternativa al modelo de la bolsa. Según ese modelo los quarks estaban sujetos a los extremos de las cuerdas. La razón de que nunca se viese un quark aislado era que cada quark estaba atado a otro por medio de la cuerda, de modo que sólo existían en pares, o —si se tenía una cuerda de tres extremos (una ligera anomalía del modelo de la cuerda)— en tríos.

Si tratamos de sacar un quark de su cuerda lo único que conseguiremos será estirar la cuerda, o romperla en dos (o en tres), lo que conduciría a la formación de nuevos pares (o triplete) de quarks en los extremos de la nueva cuerda.

Como modelo de confinamiento de los quarks, y como manera de explicar las trayectorias de Regge, el modelo de cuerdas resultaba muy ingenioso, y llamó mucho la atención, por lo menos durante algún tiempo. «Miles de personas trabajaban por entonces en teoría de cuerdas, muchos de ellos en Europa», dice Roger Dashen, del Instituto. «Si se examina la literatura se encontrarán varios miles de artículos sobre la teoría de cuerdas. Entonces no se llamaban cuerdas, sino amplitudes de Veneziano, teorías de resonancia dual, y otras cosas por el estilo. Al final, sin embargo, los físicos llegaron a la conclusión de que nada de todo aquello tenía que ver con la realidad».

Y no tenía nada que ver con la realidad porque resultó que las cuerdas, cuando estaban en su estado de mínima energía, no solamente carecían de masa, sino que, además, tenían *masa negativa*. Lo que pueda querer decir esto desde un punto de vista filosófico constituía ya de por sí un problema intrigante, pero su aspecto físico, por lo menos, estaba claro: las partículas de masa negativa (llamadas «taquiones») viajarían a más velocidad que la luz. Esto era perfectamente compatible con la relatividad general, según la cual solamente las partículas *que tienen masa* son incapaces de sobrepasar la velocidad de la luz, pero a pesar de todo, tenía consecuencias bastante negativas, como, por ejemplo, el fluir del



tiempo hacia atrás, transgresiones de la ley de la causa y efecto, y otras.

Además, estaba el problema de las dimensiones extra, porque resultó que la teoría inicial de cuerdas sólo tenía sentido si se daba por supuesto que el espacio-tiempo tenía veintiséis dimensiones en lugar de las cuatro habituales (tres dimensiones espaciales y una temporal). Incluso para los físicos teóricos, que sostenían de manera habitual las hipótesis más extrañas junto con la tolerancia más cordial que cabe imaginar, resultaba algo inquietante la posibilidad de un universo de veintiséis dimensiones («Sería, evidentemente, afísico», comentó uno de ellos).

Como si todo esto no fuera suficiente, la teoría de la cronodinámica cuántica (QCD) no tardó en barrer la escena, transformándose en una teoría completa y exitosa de interacción intensa y llevando a cabo exactamente lo que se suponía que iba a llevar a cabo la teoría de cuerdas cuando fue propuesta en primer lugar. Las cuerdas parecieron de pronto perder toda razón de ser —la verdad era que habían planteado más problemas de los que habían resuelto—, de modo que la mayor parte de los físicos las declararon esencialmente muertas.

No todos. Hubo algunas excepciones de unos cuantos fanáticos, como, por ejemplo John Schwartz. Schwartz trabajó en la teoría de cuerdas desde el nacimiento mismo de la teoría y pensaba que todo su ensamblaje era estéticamente agradable y que, a pesar de sus fallos, podría quizá ser transformada en algo capaz de funcionar.

Schwartz tenía un pasado adecuado para un teórico de las cuerdas. Se había graduado en matemáticas en Harvard, pasando luego a la física teórica y doctorándose en la Universidad de California, Berkeley, en 1966. Cuando estaba enseñando en Princeton oyó hablar por primera vez de las amplitudes de Veneziano, de las teorías de resonancia dual, y de otras cosas por el estilo, y desde entonces puede asegurarse que no se ha dedicado a casi ninguna otra cosa. Schwartz, con ayuda de muchos otros especialistas, añadió dos elementos importantes al modelo de cuerda «Increíblemente Primitivo» de Veneziano y Nambu. Uno de éstos fue el concepto de la supersimetría, el otro la idea de la compactificación.

La supersimetría es la idea de que las partículas de materia — quarks, electrones y demás— se reflejan de manera profunda y sistemática en partículas correspondientes de fuerza. Cada partícula de materia pasa por corresponder a un «supersocio», es decir, a una partícula de fuerza, y a la inversa. Mientras que la teoría de cuerdas inicial de Veneziano y Nambu se aplicaba solamente a los llamados bosones (partículas portadoras de fuerza), Schwartz, junto con Pierre Ramond, André Neveu, Joel Scherk y otros, puso también en órbita los «fermiones» (partículas de materia). El resultado fue que una teoría que había comenzado como explicación de la fuerza fuerte parecía ahora abarcar todas las partículas conocidas.

Por supuesto, había problemas. En primer lugar, quedaban todavía unas pocas dimensiones extra arrinconadas por ahí. Schwartz y sus

colegas habían reducido el número de las dimensiones necesarias en más de la mitad. Su modelo de cuerda «solamente» tenía nueve dimensiones. Nueve no es tres, pero todavía sigue siendo mucho mejor que veintiséis. «Es un paso en la dirección debida», comentó Schwartz.

Pero, así y todo, ¿qué hacer con las seis dimensiones restantes?

La respuesta es que se puede hacer con ellas una bolita y la bolita se esconde bajo la alfombra. En 1974, Schwartz y Joel Scherk se dieron cuenta de que era posible eliminar las dimensiones superfluas gracias a un recurso matemático llamado «compactificación», una técnica propugnada en la década de los veinte por Theodor Kaluza y Oskar Klein. Kaluza y Klein habían tratado de unificar el electromagnetismo con la gravedad, comenzando con una variedad pentadimensional del espacio-tiempo. Klein propuso que si la quinta dimensión extra fuese lo bastante pequeña, en relación con las otras dimensiones espaciales, no aparecería en la naturaleza macroscópica (o, por lo menos, no aparecería como dimensión extra, aunque podría manifestarse de alguna otra manera).

En lo esencial, el proceso de compactificación equivale a liberarse de dimensiones no deseadas haciéndolas demasiado pequeñas para ser perceptibles. Una manguera de jardín, por ejemplo, es un objeto tridimensional corriente, con longitud, anchura y altura. Pero si fuese posible imaginar que el diámetro de una manguera se redujese a casi cero —como daría la impresión de ocurrir si se la observase a distancia—, la manguera *parecería* un objeto

unidimensional. Se habrían «perdido» dos dimensiones haciéndolas demasiado pequeñas para ser vistas, pero, a pesar de todo, seguirían existiendo, y siendo perfectamente reales.

Schwartz y Scherk aplicaron a continuación la técnica de compactificación de Kaluza-Klein a las dimensiones restantes de su modelo de cuerda. Argumentaron que si las dimensiones extra fueran compactificadas hasta reducirlas a pequeñas esferas, demasiado diminutas para poder ser vistas a escalas mayores, el conjunto de la teoría de cuerdas comenzaría a cobrar sentido.

Excepto por lo que se refiere al problema de la gravedad. La fuerza más evidente de la naturaleza, la única con la que todos estamos familiarizados en la práctica desde el momento mismo en que nacemos, seguía sin explicación desde el punto de vista de cualquier teoría de fenómenos cuánticos. La mecánica cuántica podía acomodar las otras tres fuerzas de la naturaleza con bastante facilidad. La fuerza electromagnética, por ejemplo, quedaba perfectamente abarcada por la teoría de la electrodinámica cuántica, mientras la fuerza fuerte se acogía a la cromodinámica cuántica. La fuerza débil quedaba concebida como parte de la unificación electrodébil, pero, en el caso de la gravedad, en fin..., la fuerza de la gravedad se había resistido tercamente a cualquier intento de comprensión dentro del ámbito de la mecánica cuántica, y seguía siendo el tipo raro del cotarro.

La principal razón de esto es que la gravedad se describe en la teoría de la relatividad general de Einstein como una curvatura espacial, un fenómeno de gran escala en el que cuerpos pesados producen

distorsiones en el complejo espacio-tiempo. El problema de estos inmensos abismos de espacio abiertos es, sin embargo, que no son compatibles de manera evidente con lo que tiene lugar a escala cuántica. La disparidad entre los dos extremos es, pura y simplemente, demasiado grande. Éste era el problema de la «gravedad cuantificada», y se manifestaba a través de la presencia de lo que los físicos de partículas llamaban, haciendo curiosos esfuerzos de pronunciación, «infinitos no renormalizables».

Las infinidades en cuestión surgían del hecho mismo de que las partículas elementales son consideradas como *sin tamaño*, como puntos adimensionales. Toda partícula lleva consigo una fuerza, y esta fuerza se hace más fuerte a medida que se acerca uno a la partícula. La fuerza alcanza proporciones críticas cuando se está a distancia cero de una partícula de tamaño cero, porque, en ese caso, el campo de fuerza de la partícula se vuelve infinito. De ahí «el problema de los infinitos».

La manera habitual de resolver ese problema era la «renormalización», un proceso corrector que equivale a sustraer un infinito de otro, dejándole a uno al final un valor de tamaño finito. Este segundo infinito podría, por ejemplo, ser considerado la masa de la partícula cuando está comprimida hasta llegar a radio cero. Si se sustrae una masa infinita de una fuerza infinita el resultado será una partícula con la masa finita que se espera que debe tener.

Los infinitos participantes en la gravedad cuántica eran, sin embargo, especiales. No eran renormalizables. En el caso de la gravedad, los infinitos son demasiado grandes y se producen con

demasiada rapidez, y el proceso de sustracción, pura y simplemente, no funciona. En este caso también la clave del problema parecía consistir en que las partículas elementales de la gravedad —los «gravitones»— se consideran como semejantes a puntos. En la teoría de cuerdas, sin embargo, las partículas ya no son puntos: tienen dimensiones, tienen tamaño y forma. Si hay algo capaz de evitar los temidos infinitos no renormalizables, lo más probable es que ese algo sean las cuerdas.

Ciertas versiones de la teoría de cuerdas predecían la existencia de una partícula desconocida de espín-2. Durante algún tiempo se pensó que se trataría de alguna más de las extrañas y «afísicas» consecuencias de la teoría de cuerdas, porque nunca se había podido observar una partícula así, pero, en 1974, Schwarz y Scherk teorizaron que esta partícula no observada de espín-2 podría ser el cuanto de la gravitación, el «gravitón», que los científicos habían determinado que podría ser de espín-2.

Schwarz y Scherk se dieron cuenta de que si la partícula de espín-2 anunciada por la teoría de cuerdas era realmente el gravitón, la conclusión sería que la teoría de cuerdas tendría el resultado casi milagroso de *exigir* la existencia de gravitones, de *necesitarlos* como parte insoslayable e irrenunciable de la teoría, mientras que a ninguna otra de las teorías cuánticas era posible forzarlas a aceptar gravitones, por mucha fuerza, por mucho malabarismo o por mucha treta matemática que se intentase. Por otra parte, en la teoría de cuerdas se podría prescindir de los infinitos por el simple hecho de que las cuerdas tenían tamaño, volumen. Y así es como se pensó

que la nueva teoría de cuerdas de Schwarz y Scherk podría resolver el problema de cuantificar la gravedad y el problema de los infinitos de un solo y contundente golpe.

Durante la era Increíblemente Primitiva de la teoría de supercuerdas, Ed Witten estaba empezando a hincarle el diente a la ciencia. Nació en Baltimore en 1951, asistió al colegio Park de esa ciudad, y luego a la Universidad Johns Hopkins, donde comenzó estudiando historia. Luego pasó a la Universidad de Brandéis, en el estado de Massachusetts, donde decidió pasarse a la física. Tuvo que aprender mucha ciencia antes de cambiar de disciplina, de modo que no recuerda con mucho agrado su paso por la Universidad de Brandéis. Fue a Princeton a graduarse en física, y realizó el doctorado con David Gross, lo que consiguió en 1976, a la edad de veinticinco años.

El año antes de graduarse, Witten asistió a un curso de verano en los Alpes suizos, cerca del Mont Blanc, donde conoció a una física italiana llamada Chiara Nappi, con quien acabó casándose. Los dos encontraron trabajo en Harvard, más tarde en el Instituto y finalmente en la Universidad de Princeton.

En 1981 Witten todavía no se ocupaba de las supercuerdas, pero comprobó un resultado que iba a tener una importante aplicación en la teoría de las mismas. Ese resultado consistía en que, por razones técnicas, once dimensiones de espacio y tiempo parecían ser un número mágico. Eran el mínimo necesario para obtener una teoría realista de campos de puntos, pero, según Witten, eran, al mismo tiempo, el máximo permisible. Sin embargo, las teorías

unificadas undecimodimensionales tenían una dificultad, que ninguna teoría basada en un número impar de dimensiones podía ser «quiral».

*Quiralidad* es la palabra que usan los físicos para expresar el concepto de las «manos», es decir, de que la naturaleza distingue entre la versión derecha e izquierda (o bien, en el sentido de las manecillas del reloj y en sentido contrario a las manecillas del reloj) de la misma cosa. La gente es quiral en el sentido de que tienen el corazón en el lado izquierdo del cuerpo. El ADN es quiral en el sentido de que la hélice doble gira en torno a sí misma como una escalera de caracol, o sea, siempre a la derecha y nunca a la izquierda. Pero el fenómeno de la quiralidad se aplica también a las partículas elementales. Los neutrinos, por ejemplo, son zurdos, y esto significa que giran en sentido contrario a las manecillas del reloj, o sea, hacia la izquierda, con respecto a su dirección de movimiento hacia adelante. Para acomodar la quiralidad del universo cuántico, fue necesario, por lo tanto, que una teoría unificada de campos distinguiera entre las partículas de mano derecha y las de mano izquierda. Una de las cosas que demostraron Ed Witten y otros, fue, sin embargo, que, para que una teoría sea quiral, es necesario presuponer un número *par* de dimensiones.

Como se ve, la cuestión había llegado a un callejón sin salida. Witten había demostrado dos cosas que parecían ser fundamentalmente incompatibles: que una teoría unificada de campos de puntos necesitaba un número *impar* de dimensiones, y que una teoría no podía ser quiral si no tenía un número par de



dimensiones. Parecía imposible obtener una teoría unificada capaz de ser quiral y, al tiempo, de basarse en partículas-puntos.

Esto, ciertamente, era una mala noticia para los teóricos de partículas-puntos, pero no, como es natural, para los teóricos de cuerdas. Las cuerdas no son partículas-puntos, son cuerdas, de modo que eluden tranquilamente el dilema de Witten. La teoría de cuerdas de Schwarz y Scherk tenía diez dimensiones y contenía además quiralidad, por lo que, por una vez, parecía abierto el camino del triunfo para la teoría de cuerdas. Por fin las cuerdas parecían tenerlo todo a su favor. Podían aceptar la gravedad sin entrar en el problema de los infinitos, podían aceptar todas las fuerzas y todas las partículas, y todo ello sin la menor necesidad de someterse al embarazoso problema de las dimensiones pares e impares que planteaba Witten.

¿Cabía, acaso, pedir más?

Pues claro que sí, claro que se podía pedir más. Se podía pedir, por ejemplo, liberarse de las anomalías.

¡Qué pena daba la pobre supercuerda! Lo que había dicho Gottlob Frege hacía mucho tiempo sobre las bases de las matemáticas podía aplicarse también perfectamente a este caso: «En el momento mismo en que se remataba el edificio, sus cimientos se hundieron».

«Anomalías» es una palabra que sugiere extraños fenómenos físicos, monstruosos e inesperados virajes, abortos surrealistas de las leyes físicas. Si el cometa Halley volviese ahora, al cabo de sólo treinta años en lugar de los setenta y seis de siempre, sería una anomalía; también son «anomalías» las vacas de dos cabezas y los hermanos

siameses. Pero en la física de partículas la palabra «anomalía» quiere decir algo menos extraño, aunque mucho más serio desde el punto de vista de la teoría abstracta. En física de partículas la teoría sufre anomalías si viola ciertas leyes de conservación, como son las leyes de la conservación de la carga eléctrica, la conservación de la energía-momento, y así sucesivamente. Como esas leyes de conservación están tan firmemente arraigadas en las reglas fundamentales de la física, cualquier teoría que las viole queda considerada en lo esencial como una teoría incoherente y se desecha de manera automática.

Durante largo tiempo uno de los principales problemas que planteaba la teoría de cuerdas era que *todas* las versiones conocidas de esta teoría sufrían de anomalías. Era como si las anomalías mismas se hubiesen transformado en supercuerdas, como si la teoría misma sufriese de mal de ojo. Pero en el verano de 1984, John Schwarz, junto con Michael Green, que había empezado a interesarse en las supercuerdas cuando era miembro del Instituto, a fines de la década de los setenta, dio con un resultado que validaría la teoría de cuerdas y pondría el mundo de la física a sus pies. Los dos físicos mostraron que había versiones de la teoría de supercuerdas que estaban *libres de anomalías*.

Fue como una señal del cielo, una revelación. Los físicos comenzaron por fin a prestar atención a la teoría de supercuerdas. ¿Y por qué no? Tenían, por fin, una teoría que no solamente contenía gravedad, sino que *la necesitaba* desde el punto de vista matemático. Y, más aún, por la simple virtud de la estructura

monodimensional, finita de tamaño, de la cuerda misma, las supercuerdas evitaban los infinitos a que estaban sujetas todas las demás teorías cuánticas de la gravedad. El hecho de que las teorías de cuerdas quedasen ahora demostrablemente libres de anomalías era como un don del cielo, y los físicos alargaron las manos como locos para cogerlo.

«Dejé todo lo que estaba haciendo, incluso varios libros que tenía en preparación, y me puse a aprender todo lo que pude sobre la teoría de supercuerdas», dijo el ganador del premio Nobel Steven Weinberg en enero de 1985.

«Pienso que hemos encontrado lo que necesitábamos», dijo otro ganador del premio Nobel, Murray Gell-Mann. «Creo que hemos dado con la teoría de todo: gravedad, interacciones fuertes, débiles y electromagnéticas, además de muchas otras cosas, todas juntas. Hemos llegado a una teoría de la naturaleza completamente unificada».

«La teoría de supercuerdas es un completo y absoluto milagro», dijo Ed Witten.

Aparecieron artículos y ensayos importantes sobre las cuerdas en todas las revistas científicas conocidas, como *Nature* y *Science*, pero también en *Time* y en el *New York Times*. Comenzaron a aparecer artículos sobre la teoría de supercuerdas a razón de unos cien al mes, y algunos de los principales protagonistas de las guerras de las cuerdas, como, por ejemplo, David Gross, recibían semanalmente alrededor de 15 ejemplares avanzados de artículos y ensayos sobre ese tema. El número de julio de 1989 de la revista profesional

*Physics Today* publicó un artículo con el siguiente titular: «Anomaly Cancellation Launches Superstring Bandwagon». En ese artículo se afirmaba que «en estos pocos meses últimos ha sido difícil dar con algún artículo sobre teorías de partículas que no empiece diciendo: “Ha despertado considerable interés en las teorías decadimensionales unificadas de cuerdas el reciente descubrimiento de Green y Schwarz de que esas teorías están libres de anomalías”». Y seguía informando de que el mundo de la física teórica estaba preparándose para un ataque a fondo y prolongado a las supercuerdas.

Esta sensación general de euforia llegó a ser tan violenta, llegó a desmandarse de tal manera que los que consiguieron conservar un cierto sentido de la proporción sobre la teoría de cuerdas llegaron incluso a criticar a sus colegas por exceso de celo. Sheldon Glashow y Paul Ginsparg, por ejemplo, escribieron para *Physics Today* un corto artículo satírico con un bonito título: «¿Búsqueda desesperada de supercuerdas?», en el que pedían un poco de moderación. «Años de intenso esfuerzo por parte de docenas de las mejores figuras y más brillantes no han sido suficientes para mostrarnos una sola predicción comprobable (de la teoría de supercuerdas)», decía el artículo. «La existencia de la teoría depende de coincidencias mágicas, de cancelaciones milagrosas y de relaciones entre campos de matemáticas que no parecen estar relacionados (y que, posiblemente, no estén ni descubiertos). ¿Son esas cualidades razón para aceptar las supercuerdas como una realidad?».

Más tarde Glashow citaba en las conferencias su ingenioso pareado sobre Witten:

Sigan nuestro consejo y no se infecten:

el libro no está terminado, y su última palabra no es Witten.

Mientras tanto, Howard Georgi, de la Universidad de Harvard, calificaba la teoría de cuerdas de «teología matemática recreativa».

Pero los verdaderos supercuerdistas no hacían ningún caso de todo esto. La ola del futuro había hecho su aparición por fin, y no se podía hacer nada contra ella. Las supercuerdas estaban entre nosotros para siempre.

Cuando Ed Witten comenzó a dar su cursillo de conferencias titulado «Introducción a cuerdas sencillas para no físicos», el Instituto de Estudios Avanzados se había convertido ya en un verdadero hervidero de jóvenes fanáticos de las cuerdas. Y los que no estaban dedicados al estudio de las cuerdas, como, por ejemplo, Steve Adler y Freeman Dyson, se sentían obligados a pedir excusas, a explicar, a dar alguna razón justificativa de tan extraño comportamiento.

«Yo tengo tendencia a ser un solitario y a dedicarme a cosas que no están de moda», dice Stephen Adler, «pero no hay ninguna razón específica, es que es así como a mí me gusta trabajar».

«Yo no soy tan rápido y ágil como los jóvenes», dice Freeman Dyson, «y no sería prudente por mi parte dedicarme a esas cosas, de modo que me dedico a otras menos de moda, como, por ejemplo, el origen de la vida».

Pero los jóvenes postdoctorales estaban firmemente subidos al barco de las supercuerdas, aunque, como casi todos los físicos de partículas, encontraban que era una tarea ardua. «Es un campo de estudio muy complejo y duro», dice Mark Mueller, «y estas teorías son muy complicadas, pero mucho, y se tarda mucho tiempo en familiarizarse con ellas».

Algunos de los hinchas de las cuerdas estaban un poco preocupados por la falta de relación de la teoría con la realidad empírica. John Bagger, del Instituto, que tuvo la suerte de tener a Ed Witten como asesor de disertación, explica: «La física hizo grandes progresos cuando Galileo dijo: “Abrid los ojos y haced experimentos. Dejad de hacer filosofía y comenzad a utilizar vuestros sentidos y a ver lo que os dice la naturaleza en lugar de limitaros a pensar en ella”. Fue entonces cuando la física se volvió física, y ésta es la razón de que la física haya tenido tanto éxito. Es muy peligroso ponerse a pensar en las cosas en lugar de experimentar sobre ellas. Por eso existe el peligro de que las cuerdas puedan no ser determinantes a altas energías».

Una vez dicho esto, la cuestión es cómo soslayar ese problema. «Bueno, hay formas de soslayarlo», dice Bagger. «En primer lugar, ni siquiera sabemos en realidad todavía bastante sobre las cuerdas para decidir si son comprobables en baja energía. Pero, desde luego, ésta es una cuestión que a mí me preocupa. Pienso que es una situación malsana, pero, al mismo tiempo, las cuerdas son muy *atractivas*... Estábamos en un callejón sin salida en lo referente a ciertos aspectos de la teoría cuántica de campo, y esto nos ofrecía

una salida, de modo que hay que explorarlo matemáticamente antes de llegar a proponer experimentos».

A pesar de los peligros de este campo de estudio, Bagger sigue adelante a toda velocidad con sus supercuerdas porque piensa que pueden responder a algunas de las principales cuestiones de la física.

«La teoría de las supercuerdas puede explicarnos», dice Bagger, «la razón de que el universo tenga el aspecto que tiene. Por ejemplo, ¿por qué es tan grande? ¿Por qué no es todo el universo del tamaño de una canica o de algo parecido? Dicho de otra forma, ¿cómo se las arregla una teoría para saber lo que es la “estructura del vacío”? Olvidémonos de los planetas, olvidémonos de la gente y de todo eso. *¿Por qué razón tiene el universo el gran tamaño que tiene?* Nadie sabe contestar realmente a esta pregunta. Ésta es la vieja cuestión de la constante cosmológica. ¿Por qué es tan pequeña la constante cosmológica?».

La constante cosmológica es el parámetro físico que describe la estructura del espacio en ausencia de objetos masivos cuya gravedad lo deformaría. Dicho de otra forma, describe la curvatura de un espacio vacío de toda materia. La constante cosmológica ha sido medida, y, en realidad, es la medición más exacta que se ha hecho en la historia de la ciencia, con un margen de exactitud de uno entre  $10^{120}$ . Resulta que la constante cosmológica es casi exactamente cero, lo que significa que el espacio vacío es casi completamente plano.

«Pero *¿por qué* está tan cerca del cero?», pregunta John Bagger. «La respuesta a esta pregunta es que nadie sabe por qué. La constante cosmológica es básicamente la densidad energética del espacio vacío, y como la densidad energética es lo que hace posible la curvatura en la relatividad, si hay una constante cosmológica grande, el universo tiene que ser muy pequeño, estar muy curvo. De modo que el hecho palpable de que el universo sea muy grande es un misterio. *¿Por qué es tan pequeña la constante cosmológica?*».

Aunque la teoría de supercuerdas sea capaz de resolver ese misterio, todavía quedan otros misterios en la teoría misma. Por ejemplo, ¿por qué razón el universo visible tiene solamente cuatro grandes dimensiones espaciales, mientras las otras seis están «compactificadas», escondidas en bolitas? La respuesta de las supercuerdas es que en el momento del Big Bang las diez dimensiones espaciales eran más o menos equivalentes, pero entonces algunas fueron reduciéndose hasta quedar en casi nada, dejando solamente las cuatro que ahora existen. Esto es lo que quiso explicar Ed Witten cuando dijo que la naturaleza empezaba con algo más grande de lo que observamos y luego sustrajo algo. Pero *¿por qué* algunas partes se hicieron pequeñas?

«¿Cómo sabía la naturaleza cuáles son los espacios preferidos por las supercuerdas?», prosigue Bagger. «Ésa es realmente la cuestión clave de la teoría de cuerdas: *¿cómo saber que cuatro dimensiones son tan grandes y seis dimensiones tan pequeñas?* Nadie lo sabe. Yo creo que a los físicos les gustaría creer que el universo es único: o sea, que tenía que ser como es, que Dios no tenía otra solución que



crearlo como lo creó. En este momento eso no se comprende verdaderamente. Si había un millón de mundos posibles y Dios eligió uno al azar, la física resultaría mucho menos atractiva de lo que es, porque lo que se hace es intentar —con puro pensamiento, pero también con ayuda de experimentos— comprender *por qué* es el universo como es. Pero si se trata, pura y simplemente, de una decisión arbitraria de Dios, entonces todo el asunto falla».

La oficina de Ed Witten está en el tercer piso del Jadwyn Hall de la Universidad de Princeton. Es una habitación pequeña y desnuda cuyas ventanas dan a un patio abierto situado en el centro del edificio. Las estanterías están llenas de libros de física, y hay varios archivadores llenos de artículos del propio Witten sobre física. También hay una terminal de ordenador en la estancia, aunque la verdad es que Witten apenas la usa para sus trabajos de física.

«Antes de poner algo en un ordenador», dice Ed Witten, «hay que tener una idea razonable y bastante específica de lo que se está haciendo. Nuestra comprensión de la teoría de cuerdas es todavía demasiado general».

Pero Witten usa el ordenador para escribir. Junto con Michael Green y John Schwarz, Witten está escribiendo un libro que se titulará *Teoría de supercuerdas* y que publicará la Cambridge University Press en 1987. Por lo menos hasta que el avance de la teoría desfase el texto de este libro, tendremos en él la exposición definitiva del problema. Lo que nadie sabe es cuánto tiempo tardará en producirse ese avance.

«Algunos de mis colegas», dice Witten, «creen que va a ocurrir antes de lo que yo pienso, pero mi opinión es que el que espere un avance serio en los próximos años subestima la majestad de la estructura. Posiblemente se tarde mucho tiempo, cincuenta años quizá, como ocurrió con la electrodinámica cuántica».

Witten, con un jersey gris, está comiendo un bocadillo.

Uno de los problemas de la teoría de cuerdas, dice Witten, es que fue inventada al revés: las matemáticas precedieron a la comprensión conceptual, justo al revés de lo que le ocurrió a Einstein, que puso los conceptos primero y luego desarrolló la teoría.

«La relatividad general es una teoría en la que los conceptos son lo primero», explica, «y desde Einstein todo el mundo está tratando de hacer lo mismo. Einstein es en realidad la primera persona que puso primero los conceptos, en lugar de perder el tiempo con ecuaciones, como hicieron sus predecesores Newton y Maxwell. Por desgracia la teoría de supercuerdas es más matemática que conceptual. Las cuerdas fueron inventadas por casualidad, en lugar de ser deducidas a partir de algún marco lógico. El problema que plantea la teoría de supercuerdas es que todavía no la comprendemos conceptualmente. Una de las cosas que estoy tratando de hacer es precisamente definir el marco conceptual que todavía nos falta».

Witten está convencido de que las supercuerdas pueden acabar siendo *La Verdad* sobre la naturaleza, la sola y única verdad sobre el universo.

«Hace un año yo habría mencionado tres problemas aparentemente insolubles como obstáculos para una teoría de supercuerdas: el primero, conseguir la interacción gauge correcta a bajas energías; el segundo, el problema de la quiralidad; y el tercero, cómo explicar la razón de que la constante cosmológica desaparezca». Los dos primeros fueron resueltos por Schwarz y Green en agosto de 1984, y esto, dice Witten, «dejó completamente claro, a mi modo de ver, que la teoría de supercuerdas es correcta».

Witten está dispuesto a dedicar toda su vida a este trabajo si hace falta.

«Las supercuerdas son una de dos, o una teoría de la naturaleza», dice Witten, «o son un increíble paso hacia la teoría de la naturaleza. Y como el físico lo que hace es estudiar la naturaleza y lo que quiere es comprenderla, se sigue que nuestra carrera va a consistir en tratar de comprender esta teoría durante tanto tiempo como sea necesario».

Ésta es una época fabulosa para ser teórico de partículas en el Instituto de Estudios Avanzados, casi tan fabulosa como los viejos días, ya legendarios, de las primeras décadas de este siglo, cuando la mecánica cuántica estaba en su apogeo. Algunos físicos solían decir que les gustaría haber vivido entonces por lo emocionante que habría sido presenciar aquellos grandes avances hacia la comprensión de la naturaleza. Pero la teoría de supercuerdas ha dado a los físicos otra oportunidad de entrar en la zona secreta, de ver la fusión de las teorías del universo de arriba abajo y de abajo arriba.

Hay que sentir una cierta medida de soberbia para pensar que la Gran Unificación Final acabará teniendo lugar tarde o temprano. Hay que tener cierta falta de modestia sobre la fuerza de la mente humana.

«Los físicos teóricos están muy orgullosos de lo que hemos conseguido hasta ahora en teoría cuántica», dice David Gross, supercordelero, «pero eso está basado en datos que nos han impuesto nuestros amigos los experimentalistas. Ahora, en cambio, estamos en una situación en la que carecemos de pistas experimentales, lo único que tenemos es la sensación de que la teoría tiene que ser correcta. Y en la situación en que ahora nos encontramos —o sea, trabajando en un umbral situado a dieciocho órdenes de magnitud más allá de cualquier posibilidad de comprobación— nos hace falta una buena dosis de arrogancia, y hay físicos por ahí que piensan que esto ya no es arrogancia, sino pura tontería».

Claro es que puede ocurrir que los toritos sean los experimentalistas, que se pasan días, semanas, meses, años incluso, esperando en el fondo de un pozo de mina a ver si algún protón se desintegra o encienda se enciende una luz en la pantalla que indica el encuentro de algún neutrino solar. Para los teóricos ésta no es manera de vivir. Resulta mejor tener una maravillosa teoría que pasarse las horas muertas tocándose las narices en lo más hondo de una mina de sal esperando a ver si se enciende o no una luz.

El ojo del teórico está siempre fijo en las formas —las realidades matemáticas—, ya estén en el fondo de la materia o en el borde mismo del universo. Las abstracciones, las ecuaciones, la pura coherencia matemática puede brindarnos a fin de cuentas la verdad completa y última sobre la naturaleza. Quizá se pueda llegar a conocer el mundo sin otra ayuda que la de la mente humana, precisamente como dijo Platón.

## Epílogo

### Sección 12

#### Criaturas en el reino de los juguetes

*Cuando estaba en Princeton en la década de los cuarenta, me di cuenta de lo que les ocurría a todas esas grandes mentes del Instituto de Estudios Avanzados que habían sido seleccionadas por sus estupendos cerebros y a las que ahora se brindaba la oportunidad de pasar el tiempo en esta encantadora casa rodeada de bosque, sin tener que dar clases, sin tener que enseñar, sin verse sujetos a obligaciones de ninguna especie. Esos pobres desgraciados podían sentarse a pensar a solas, sin que nadie les molestase. ¿De acuerdo? Muy bien, pues lo que pasa es que pasa el tiempo y no se les ocurre ninguna idea: ahora precisamente que tienen esta oportunidad de hacer algo, no se les ocurren ideas. Yo pienso que en una situación de este tipo lo que pasa es que empieza a corroerle a uno una sensación de culpabilidad, una especie de gusano de depresión, y uno se preocupa porque no se le ocurren ideas. Y, así y todo, sigue sin pasar nada. Nada, que no surgen ideas.*

*Y si no ocurre nada es precisamente porque no hay suficiente actividad verdadera, suficiente reto: porque no se está en contacto con los individuos que se dedican a hacer experimentos. Porque no hay que pensar para poder*

*responder a las preguntas de los estudiantes. Justo, eso:  
¡nada!*

*RICHARD P. FEYNMAN,*

*Surely You're Joking, Mr. Feynman!*

Los veteranos son los que primero hacen acto de presencia. Están en su sitio todos los días a las doce del mediodía exactamente. Son los que abren la sala. Van bien vestidos, con sus chaquetas y sus corbatas, justo como en los viejos tiempos. Se juntan, formando pequeños grupos de hombres mayores, y se sientan a comer su almuerzo en el restaurante del Instituto, y mientras comen se ponen a discutir..., bueno, lo que sea. Posiblemente hablen de los viejos tiempos. De algunos de ellos se diría que la única razón de su presencia allí es precisamente ésa: sentarse a almorzar.

Pero no se quedan mucho tiempo. La mayor parte de ellos están de nuevo fuera a las doce y media, camino de sus despachos; otros, como si tuvieran asuntos urgentes que despachar. En fin, que estos viejos pequeños, encogidos, marchitos, se vuelven, arrastrando los pies, a sus habitaciones viejas y olvidadas y tapizadas de libros, a donde no va nadie a visitarles, a pedirles su valioso consejo, la sabiduría acumulada con el paso de los años... Y allí abren un libro y leen un poco. Pero enseguida casi todos lo cierran y se van, hasta la noche.

Pero uno o dos de ellos, los verdaderos profesionales, siguen en el Instituto hasta la hora del té, es decir, hasta las tres de la tarde. Los más viejos de todos ellos, los que escribieron sus libros más

famosos en la década de los treinta, antes incluso de que se fundara el Instituto, se levantan de sus mesas de trabajo a esta hora aproximadamente y van a la sala de reunión, donde se sirven una taza de té, despliegan una servilleta y eligen una pasta y quién sabe si hasta algún periódico de los que están allí a su disposición. Luego se sientan en un cómodo sofá y poco a poco comienzan a adormecerse; adormilados se quedan un momento o dos —¡nunca más tiempo!— y al cabo de un rato su pecho comienza a subir y bajar lenta y hondamente a la luz dorada del atardecer.

Cuando llevan de nuevo sus tazas vacías al carrito del té que está junto al reloj de pared, sus manos tiemblan de tal manera que se oyen las tazas bailotear sobre los platillos hasta que llegan a su destino.

«Bueno, vamos a ver, ¿qué es lo que ha salido del Instituto?», quiere saber Jerry Ostriker.

Está sentado en la habitación del Invernadero del restaurante mexicano Casa Lupita, en Lawrenceville, estado de Nueva Jersey, junto a la carretera de Princeton. Es la cena que han organizado los astrónomos en honor de Margaret Geller después de las conferencias que dio ésta, primero en el Instituto y luego en la universidad, donde Ostriker enseña astrofísica.

«Lo que es evidente», prosigue, «es que en el Instituto hemos tenido grandes hombres que todos conocemos, como Einstein y Gödel y los demás, pero, por lo que a ciencia se refiere, ¿qué es lo que ha producido el Instituto, vamos a ver?».



«Bueno, para empezar», dice alguien, «tenemos los trabajos de no conservación de la paridad de Yang y Lee. Y, claro, también los trabajos de Gödel sobre la hipótesis del continuo. Y...».

Y eso es todo, más o menos. Resulta difícil refutar la impresión de que el Instituto es un sitio muy bonito, pero en el que a uno no le gustaría vivir, porque..., porque allí no pasa verdaderamente nada. Es un lugar tan agobiantemente libre de presiones, sus miembros están en tal libertad de hacer cuanto les venga en gana que algunos de ellos acaban optando por no hacer nada.

«Allá por 1950, siendo yo miembro de Harvard», dice un ex miembro del Instituto, «solía decir que me gustaría dedicarme a la investigación. Pero la gente me decía: No, hombre, no se te ocurra, fijate en el profesor X, que fue al Instituto y desde entonces no ha hecho absolutamente nada».

Claro que sobre esto no hay ninguna regla: hay gente que trabaja en el Instituto tanto como trabajaría en cualquier otro sitio. Pero, a pesar de todo, el Instituto parece tener algo así como un halo especial, una mala fama, una reputación difícil de desarraigar que es un lugar adonde la gente más prometedora acude llena de impaciencia, y luego..., pues luego desaparecen como mansas ovejas en los bajíos de la ciencia.

Los mismos miembros del Instituto se preguntan con frecuencia si su existencia alegre y confiada es realmente como demuestra ser. Freeman Dyson, a lo largo de los años, ha pensado más de una vez mudarse a una universidad «para ganarse honradamente la vida», como él mismo dice. «Y en más de una ocasión he estado a punto de

hacerlo. Al final lo que me indujo a quedarme en el Instituto fue mi familia; después de todo he educado aquí a seis hijos, y no querían cambiar de ambiente. La única cuestión es si una vida tan fácil y cómoda como la que llevamos aquí es verdaderamente lo que uno necesita. A mí, claro, me resulta difícil juzgarlo».

El físico de partículas Steve Adler piensa más o menos de la misma manera: «No consigo decidir, desde el punto de vista del impacto de mis propias investigaciones, qué es lo mejor: si hundirse en la especie de inmersión forzosa en las cosas que es la enseñanza, o limitarse a leer lo que realmente le interesa a uno y encima tener tiempo para hacer el trabajo preferido, sin consideraciones prácticas de ningún tipo. No sé la respuesta, la verdad, pero lo que sí sé es que no se puede vivir dos veces. No me arrepiento de haber venido aquí. Probablemente esta manera de trabajar a mí me sienta bien».

Pero si el Instituto no tiene más éxito que otras instituciones académicas en la producción de obras originales y de alta calidad, si sus propios miembros no acaban de decidir si es un éxito o un fracaso, entonces, ¿cuál diablos es su razón de ser? ¿Por qué motivo existe? ¿Puede decirse acaso que no es más que un motel, un lugar de recreo intelectual adonde los eruditos agotados van a pasar una temporada de vacaciones..., o a recibir la recompensa final por haber sido genios en su juventud? ¿Es acaso el Instituto el lugar adonde los teóricos tímidos y huraños van a comer dulces intelectuales y a jugar con sus juguetes mentales?

La nueva generación tiende a llegar un poco más tarde al comedor a la hora del almuerzo. Han pasado media mañana discutiendo por

los pasillos, y estas discusiones pueden durar eternamente. Todos ellos visten con descuido, llevan vaqueros o pantalones de pana, y muchos hay que hasta llevan camisetas, algunos con dibujos o frases, como, por ejemplo, el astrofísico ése que ven ustedes allí. Lleva en su camiseta un dibujo de una galaxia, con una flecha que apunta al borde estelar, y debajo un letrero: «Aquí es donde está usted».

Cuando todos estos jóvenes llegan por fin al comedor, se sientan juntos a las mesas, igual que sus mayores. Se pasan la hora de la comida hablando de sus temas respectivos: la teoría heterótica de cuerdas, los sistemas complejos, lo que sea, y pasan bastante tiempo en el comedor después de comer.

Cuando, finalmente, vuelven a sus cuartos de trabajo, permanecen el resto de la tarde ante el ordenador poniendo a punto un programa o preparando un artículo. Si leen algo será solamente para comprobar algún detalle que han visto en una revista científica antes de citarlo en nota a pie de página. Posiblemente hagan unas cuantas llamadas telefónicas o respondan a mensajes del ordenador. A la hora del té, los jóvenes se congregan en grupitos y ríen o bromean, o —como es la costumbre de Stephen Wolfram— se limitan a llenar de té una taza de plástico y coger unas cuantas pastas y llevárselo todo al despacho para poder seguir trabajando en paz. La mayor parte de ellos siguen en el Instituto hasta las cinco de la tarde más o menos; otros, en cambio, se quedan hasta bien entrada la noche.

Desde luego, los miembros jóvenes del Instituto pasan poco tiempo durmiendo. Muchos de ellos están en momentos críticos de sus carreras y su estancia en el Instituto tiene por objeto despegar de una vez o quedarse en tierra. Posiblemente algunos están allí entre dos puestos, o mientras encuentran un puesto en la universidad de su estado; lo único que necesitan con verdadera urgencia es publicar unos cuantos artículos de investigación que llamen la atención. Y no se puede negar que, para eso, el Instituto de Estudios Avanzados es ideal, porque proporciona a sus miembros tiempo libre ilimitado —no tienen que dar clases ni están agobiados por nada—, y estos jóvenes postdoctorales saben perfectamente cómo utilizarlo. No necesitan que nadie se lo explique.

Para el profesorado permanente la situación es algo distinta. «Los que llegan a ser profesores permanentes del Instituto», dice John Bahcall, «sólo lo consiguen por haber hecho dos cosas importantes. Si no las han hecho, no lo consiguen».

La cuestión, claro está, es si, después de haber hecho dos cosas importantes, pueden seguir haciendo más. «En el mundo de la ciencia es muy difícil hacer más de dos cosas importantes», prosigue Bahcall, «incluso hacer una es difícil. Con mucha frecuencia lo mejor de la obra de uno ya está hecho cuando viene a instalarse aquí permanentemente».

Pero el Instituto de Estudios Avanzados no es único en esto, en absoluto, porque lo mismo cabe decir de la gente que consigue los mejores puestos en todas partes: cuando han llegado a la cima ya están prácticamente terminados como científicos. ¿Qué hacen, por

ejemplo, los ganadores del premio Nobel *después* de haberlo ganado? En muchos casos muy poca cosa. Es como ser miss América: eres la persona más famosa del mundo durante una temporada, y luego nadie vuelve a oír tu nombre. Todo el mundo sabe quiénes son los más importantes, desde luego, porque están en Harvard, o en Caltech, o en la Universidad de Texas, o donde sea, y tienen siempre docenas de estudiantes brillantes en sus clases, pero por lo que se refiere a investigaciones originales, bueno, eso es una cosa muy distinta.

Es evidente, sin embargo, que el Instituto de Estudios Avanzados tiene algo especial y único, y Clifford Geertz, del Departamento de Ciencias Sociales, pone el dedo en la llaga: «Oppenheimer dijo en cierta ocasión, o eso, por lo menos, he oído, que la razón de ser de este sitio consiste en quitar a la gente cualquier excusa que tengan para no hacer algo, para no hacer algo bueno. Y, en realidad, aquí no hay excusas, de modo que si no se hace algo interesante todo el mundo lo sabe, y la inquietud que esto produce es muy grande. Por eso yo diría que los que no sean capaces de estar a la altura de una situación así no debieran venir al Instituto».

«Aquí no hay deberes, no hay más que oportunidades», solía decir Abraham Flexner.

Y luego tenemos también el culto a Einstein. Los iconos están por todas partes. Saltan a la vista. Por ejemplo, el cartel de Einstein de la oficina de recepción, el busto de Einstein del comedor, la foto de Einstein del despacho del director, y así sucesivamente.

«Lo que quiero decir», dice Geertz, «es que para venir aquí hay que ser considerado un genio. Casi tienes que ser capaz de andar sobre el agua. Einstein andaba sobre el agua, pero los demás que estamos aquí, no... Y por otra parte, los que vienen aquí y no son capaces, no ya de andar sobre el agua, sino de vadear siquiera, lo tienen muy difícil. Psicológicamente la vida aquí es muy dura, porque no hay nada que hacer, nada más que trabajar, y los que no trabajan tienen razón para sentirse un poco nerviosos».

Últimamente algunos de sus miembros han empezado a decir que el Instituto tiene un problema particular en el Departamento de Ciencias Naturales, y que la calidad de su profesorado de física ha ido bajando a lo largo de los años, y ahora está en su momento más bajo. Los miembros más jóvenes, sobre todo, muestran tendencia a quejarse de esto.

—El Instituto está metido en lo que yo diría que es una espiral de mediocridad —dice el Joven Turco.

Ya es casi de noche y la mayor parte de los habituales del Instituto se han ido a sus casas, pero, así y todo, el Joven Turco cierra cuidadosamente la puerta de su despacho; lleva ya un par de años en el Departamento de Ciencias Naturales y está a punto de irse del Instituto, pero no hay por qué quemar las naves.

—Esto es verdad, sobre todo, en física —dice—, pero tengo entendido que también es cierto en el campo que pudiéramos llamar artístico. No lo sé con seguridad, porque no conozco a ninguno de los que se ocupan de historia o de ciencias sociales, pero, si quiere que le sea sincero, la gente que se dedica a la física en este preciso

instante (me refiero a la gente mayor) son mediocres en el mejor de los casos. Quiero decir que valen poco. Esto se lo puedo decir con certidumbre. Cuando hay buena gente en un sitio, gente como Einstein, Von Neumann y así, suelen nombrar a otros como ellos; pero si la gente no es de primera fila, sólo pueden ocurrir dos cosas: o que nombren a otros peores que ellos, o, por el contrario, que los busquen mejores que ellos, aunque esta segunda posibilidad es muy rara. La dinámica de grupo suele tender a no atraer más que a los que no constituyen un peligro para el grupo dirigente.

—¿Puede darme un ejemplo?

—Un ejemplo bastante conocido es el de Ed Witter —responde el Joven Turco—. Se pasaron mucho tiempo sin decidirse a traerle al Instituto (esto fue antes de que se hiciera bastante famoso, pero, así y todo, estaba claro que era muy bueno), y la verdad es que yo pienso que era, pura y simplemente, que varias personas se sentían amenazadas por él. Así de sencillo.

Los habituales del Instituto, naturalmente, contestarían a esto que la decisión de llevar gente al Instituto no es nunca sencilla. «El sentirse o no amenazado por alguien no es nunca la única razón para traer aquí profesores malos», dice uno de ellos, «otra razón puede ser el mal criterio. Y también puede pasar lo contrario, o sea, que la gente mediocre nombre a otros que son mucho mejores que ellos».

También hay que tener en cuenta que el profesorado del Instituto no es muy numeroso, y esto da más importancia a las vacantes que se producen. «Los puestos del Instituto son muy valiosos», dice Murray

Gell-Mann, «Todos ellos tienen gran importancia, como los profesores universitarios, las cátedras en Inglaterra, cosas así, y la gente se pone muy nerviosa cuando se trata de nombrar a alguien para llenar una de esas vacantes, por lo menos en el campo de la física. Y esto no suele dar por resultado una selección acertada. No se nombra a gente tan buena como cuando los responsables se sienten más serenos».

Pero hay veces que parece que ciertas personas pueden ser demasiado buenas, o por lo menos demasiado famosas para el Instituto de Estudios Avanzados. Recientemente, cuando se produjeron dos vacantes para profesores en el Departamento de Matemáticas, se preguntó a un profesor veterano del Instituto si se debiera ofrecer una de ellas a Benoit Mandelbrot, el inventor de la geometría fractal.

—No creo que fuera buena idea tenerle entre nosotros —dice el profesor de matemáticas en cuestión—, ya sé que es muy popular, pero la cuestión es si es realmente tan grande como se comenta. Sé muy bien lo que dicen las revistas y estoy seguro de que es bueno.

—¿No le parece que ha formulado una idea fundamental nueva en matemáticas?

—No estoy seguro de eso —responde el profesor.

—¿Y por qué no?

—Se trata de esas imágenes tan bonitas que se consiguen por medio de estructuras sencillas, y todo lo demás. Sí, muy bonito. Estoy de acuerdo en que hay ahí algo digno de ser estudiado.



—¿No es cierto que la geometría euclidiana no capta las formas de lo que nosotros vemos en la naturaleza, como, por ejemplo, las formas de los árboles, las nubes, y cosas así, mientras que la geometría fractal sí las capta? ¿Y que, por consiguiente, es una clave para la comprensión de la naturaleza como no se había visto hasta ahora en geometría?

—No, no estoy seguro de eso —dice él, moviendo la cabeza—. No. Ya sé que eso es lo que se lee en todas partes. Lo dicen todas las revistas. Pero yo no estoy seguro. Quiero decir que he preguntado a cierta gente que sabe de eso más que yo y no parecen estar muy seguros. Ya sé que hay mucha gente dispuesta a dar lecciones sobre la base de lo que dice el suplemento de colores del *Times*.

—Pero ¿qué tiene usted *contra* la teoría fractal?, ¿tiene esa idea algún obstáculo, alguna dificultad?

—¿Cuál sería su aspecto positivo? —pregunta a su vez el matemático—, ¿es acaso una idea tan desconcertantemente nueva?

—Eso quien tiene que decirlo es usted, usted es el matemático.

—Pues ya le digo que no estoy muy seguro de que lo sea.

—¿Ha estudiado usted los libros y los artículos de Mandelbrot?

—No —dice el profesor—, pero tampoco los han estudiado todos esos que tanto hablan de él.

Lo cierto es que el Instituto acabó renunciando a ofrecer la vacante a Benoit Mandelbrot.

Pero incluso cuando el Instituto da con alguien que encaja con todas sus exigencias puede ocurrir que no le ofrezca la combinación de dinero y ventajas que bastaría para persuadirle a aceptar el

puesto. Para Murray Gell-Mann, a quien el Instituto ha tratado varias veces de contratar, la cuestión del sueldo ha sido siempre un obstáculo.

—Las razones de que yo no fuera al Instituto —dice Gell-Mann—, fueron muy complejas. En parte fue por dinero, y también por causa de las vacaciones de verano y cosas así. A mi familia y a mí nos gustaba mucho pasar los veranos en Aspen y no parecía posible que la paga de verano bastara para nuestros gastos allí. Y sin contar la paga de verano el sueldo no estaba a la altura de las circunstancias. A Ed Witten, el Instituto le ofreció ser miembro de larga estancia cuando estaba doctorándose en Princeton, pero Witten rehusó, prefiriendo un puesto de investigación en Harvard. Más tarde, cuando el Instituto tuvo otra oportunidad de contratar a Witten, no lo hizo, alegando que no había pasado allí ni siquiera un semestre escolar, que los miembros del profesorado permanente no le conocían personalmente, y que no se sabía si encajaría allí. La Universidad de Princeton, por su parte, cuyos profesores le conocían muy bien, porque era allí donde se había graduado, le aceptaron con gusto. Otra oportunidad perdida, otra ocasión desperdiciada.

Y no se crea que Ed Witten es el único ejemplo. «A mi modo de ver», dijo en una ocasión Norman Packard, «parece que el Instituto tenga una cierta tendencia conservadora que le impida llegar a ser realmente de primera fila. Esto puede ser, quizá, consecuencia de prejuicios personales. Por ejemplo, no está claro que el Instituto vaya a seguir patrocinando la clase de investigación a que nos dedicamos Wolfram, Rob Shaw y yo, y es evidente que se trata de un

tipo de investigación importante. Si el Instituto permite que cese todo este proyecto de investigación, tendremos que llevarlo a otra parte, y, con él, la vitalidad que representa».

Packard dijo esto en enero de 1986. Nueve meses después, Stephen Wolfram, Norman Packard, Rob Shaw y Gerald Tesauero —o sea, toda la gente de sistemas complejos del Instituto— se mudaron al nuevo Centro de Investigación de Sistemas Complejos fundado por Wolfram en la Universidad de Illinois.

Para conseguir a los mejores el Instituto no tendrá más remedio que ofrecer sueldos muy altos, como en los buenos tiempos. («En los tiempos de Flexner», dice Harold Herniss, «el dinero nunca era obstáculo»), o bien tendrá que empezar a resignarse a quedar en segundo término. «Hay gente que piensa que el Instituto no tiene verdadera intención de correr este tipo de riesgos, y que está dispuesto a permitir que los temas problemáticos se estudien en otros sitios», dice Norman Packard, «yo, personalmente, si fuera director del Instituto estaría dispuesto a correr más riesgos».

Pero en la primavera de 1987, el Instituto asombró a todos sus críticos al contratar a Ed Witten como profesor permanente.

Un viejo profesor de matemáticas está sentado en su habitación en penumbra. El día, al otro lado de las ventanas, es pálido y gris, y no entra mucha luz en la estancia, pero el profesor sólo tiene encendida una lámpara fluorescente que hay sobre su escritorio. La lámpara arroja un círculo de luz blanca sobre algunos artículos de revista y una carta que está escribiendo. Lleva ya más de treinta años en el Instituto y durante parte de este tiempo se ha sentido

desconectado de los mejores matemáticos nuevos, a pesar de que los tiene al lado mismo. Este estado de cosas, sin embargo, tiene remedio.

«Uno de los puntos débiles del Instituto es que no da doctorados. Aunque tenemos derecho a darlos», dice, «no ha sido una idea bien acogida, y esto a mí me parece un error. Yo diría que no está bien privar a los miembros permanentes del Instituto del contacto con la generación joven. Tenemos miembros que vienen a pasar aquí uno o dos años, pero eso es distinto. A mí me gustaría que vinieran a la edad en que todavía no se han especializado definitivamente en algo concreto..., en un problema determinado, y que pasaran aquí un par de años escribiendo su tesis; de esta manera podrían recibir asesoramiento y hacer más preguntas a los profesores, de modo que ambas partes se beneficiarían de nuevos contactos, o sea, tanto los estudiantes como los profesores».

Aunque se trata de un matemático teórico de gran estilo, separado de la práctica, divorciado de las cosas, le gustaría ver más animación y actividad en el Instituto, le gustaría que este lugar fuera más realista y práctico de lo que es. «Varios profesores querían que hubiese aquí puestos de profesor para biólogos modernos», dice, «para ello, naturalmente, harían falta laboratorios, y hay que recordar que la idea era que el Instituto no gastase dinero en esas cosas».

Otro veterano —está en el Instituto desde el comienzo de la época de Oppenheimer— echa a la administración la culpa de la pérdida de gloria del Instituto. «La administración se ha vuelto demasiado

influyente», dice en su grande y silencioso despacho. «Cuando aquí era director Oppenheimer no se pasaba todo el tiempo dirigiendo el Instituto. La mitad del tiempo la dedicaba a la física. Tenía una secretaria, un gerente y una señora que llevaba la casa. Ahora hay un director y un director asociado, todos ellos tienen ayudantes y secretarías, y a veces hasta dos secretarías. Esto es fatal. Al cabo de un tiempo la administración acaba convirtiéndose en su propia razón de ser, y el profesorado se vuelve una cuestión secundaria».

La administración del Instituto de Estudios Avanzados cuida de los iconos y protege... La Imagen. El Instituto, al fin y al cabo, es el Único Verdadero Cielo Platónico que hay en este mundo, y tiene que ser fiel a su papel. El mundo exterior tiene que saber solamente que el Instituto es el mismo lugar austero donde trabajó Einstein, donde todo es siempre armonioso y sereno. Si alguna que otra vez se ve una arruga en el tejido de perfección, hay que plancharla inmediatamente, o, por lo menos, ocultarla a la vista de la gente de fuera. En ningún caso es permisible reconocer públicamente su existencia. *Nada de eso tiene que trascender.*

A comienzos de la década de los sesenta, Oppenheimer pensó que, ante la importancia histórica del Instituto para el desarrollo de la ciencia, y, en términos más generales, para la historia de la erudición en el siglo XX, sería buena idea escribir una relación de los primeros años del Instituto para la posteridad. Una cierta Beatrice M. Stern, de San Francisco, recibió el encargo de investigar y escribir una historia oficial del Instituto de Estudios Avanzados.

La señora Stern llegó a Princeton, donde se le dio acceso a los archivos y papeles del Instituto, así como a las minutas de las reuniones del profesorado, a las cartas, a los memorándums, etc. La señora Stern se entrevistó con profesores, con miembros interinos, y, más o menos, con todos los que accedieron a hablar con ella. Trabajó en este proyecto durante un total de nueve años y produjo un documento de ochocientas páginas que sometió al juicio de las autoridades del Instituto. El manuscrito quedó enseguida desautorizado y prohibido, como si en él se narraran matanzas de jóvenes vírgenes en los sótanos de Fuld Hall, o casos de canibalismo desenfrenado entre los profesores. Sea cual fuere la razón, lo cierto es que quedó claro que ese documento *no debía trascender*.

—No hay una historia oficial del Instituto —dice su director Harry Woolf—, el manuscrito de la señora Stern no es una historia oficial, y no sé dónde puede haber una copia de él.

—¿Por qué se dice de él que es un documento suprimido? —le pregunto.

—No es un documento suprimido —dice Woolf—, lo que ocurre es que hay poquísimas copias de él.

Alguien sugiere que es posible que Harold Cherniss tenga una de esas raras copias.

—El manuscrito es privado —dice Cherniss—, no se puede ver.

Le pregunto si puedo conseguir una copia de manos de alguna otra persona.

—Espero que no pueda —responde.

Alguien sugiere que es posible que Herman Goldstine tenga un ejemplar.

—No, no tengo ninguno —dice Goldstine—, además se trata de una cuestión de poca importancia, la señora en cuestión no era historiadora profesional, su obra es la historia de veintiséis profesores del Instituto dándose puñaladas traperas los unos a los otros.

Me llega el rumor de que Deane Montgomery tiene un ejemplar.

—No —dice Deane Montgomery—, no tengo ningún ejemplar, nunca se me permitió tener ninguno.

John Bahcall tiene un ejemplar, pero no permite que nadie lo vea.

—No puedo dejarle ver el manuscrito —dice—, es potestad de la administración decidir si puede o no ser prestado. Yo, por mí y ante mí, no lo puedo prestar.

—Pero ¿por qué? —pregunto—, ¿qué problema tiene?

—Bueno, para empezar, no está muy bien escrito —dice Bahcall.

Beatrice M. Stern, cuyo apellido de soltera era Mark, se graduó en economía en la Universidad de California en 1918, y luego entró a trabajar en la California Compensation Insurance Board. En la década de los veinte se trasladó a Washington D.C. y vivió allí algún tiempo, para volver después a California. En la década de los cincuenta, la señora Stern recibió del United Parcel Service el encargo de escribir la historia de esa empresa, encargo en el que la señora Stern trabajó durante dos años aproximadamente.

Para llevar a cabo el encargo del Instituto la señora Stern realizó una cantidad extraordinaria de investigación y redacción. Acabó

presentando un manuscrito en dos volúmenes titulado *History of the Institute for Advanced Study, 1930-1950*. Se trata de un documento completamente inocente; no se habla en él de fechorías ni de entuertos, ni contiene revelaciones de mala conducta personal por parte de ninguna persona, viva o muerta. Desde un punto de vista normal y razonable esa obra no tiene por qué causar recelo o perjuicio alguno a la institución cuya historia narra.

Eso, desde luego, sería así si se tratara de una institución con cimientos en el planeta Tierra. Lo que ocurrió, al parecer, es que la señora Stern olvidó que estaba narrando nada menos que la biografía del Cielo Platónico, de modo que, sin darse cuenta, describe, según parece con gran fidelidad a la documentación a que tuvo acceso, las rencillas y disputas que siempre surgen en cualquier grupo de seres humanos que trabajan juntos durante largos períodos. Su historia nos da pruebas sobradas de que hasta las personas más delicadas y superiores, hasta los más grandes personajes de la ciencia, están expuestos a ruindades y celos, despechos y juicios temerarios. El manuscrito de Beatrice Stern retrata a las eminencias del Instituto con todas sus verrugas, sus debilidades y sus imperfecciones, y ésta, según parece, es la razón de que *no pueda permitirse que trascienda nada de su texto*.

Más tarde, a mediados de la década de los setenta, todo este asunto se repitió en menor escala. El Instituto estaba preparándose para la celebración del centenario del nacimiento de Albert Einstein, que tendría lugar del 4 al 9 de marzo de 1979, y, con este motivo, quería compilar cierto material publicitario, entre el que se había pensado



que hubiera un breve esbozo histórico de la institución. El director asociado John Hunt contrató para que investigara y redactara todo este material a un tal William G. Wing, que había trabajado para el *New York Herald Tribune*.

Wing comenzó a hacer sus investigaciones y sus entrevistas, y a tomar sus notas y a escribir el texto. Fue presentando sus manuscritos uno a uno a Hunt, que parecía encontrarlos aceptables, y todo iba como sobre ruedas..., hasta que Wing llegó a la fase del proyecto del ordenador del Instituto.

Este proyecto, como sabemos, había sido polémico, y comenzó con mucha excitación, pero ahora la gente del Instituto quería ocultarlo, impidiendo a Wing averiguar quién había estado a favor y quién en contra, quién había inventado qué parte del ordenador y quién había dicho qué a quién. En una palabra, parecía que todas las viejas pasiones amenazaban con reventar de nuevo, de modo que se puso fin a la tarea de Wing antes de que la cuestión se desmadrara y así terminó el asunto.

Aunque el Instituto no sea realmente el Único Cielo Platónico, se acerca tanto a un estado de auténtica gracia y perfección que no cabe menos que preguntarse qué sería si fuese verdaderamente el paraíso terrenal que se quiso hacer de él en un principio. He aquí, pues, el Instituto de Estudios Avanzados Idealmente Perfecto, Platónicamente Celestial.

En primer lugar, los postdoctorales tienen que seguirse manteniendo. Si hay una cosa que el Instituto hace magníficamente bien, es entregarse al trabajo postdoctoral en la medida en que lo

hace. Ésta, realmente, puede que sea la principal aportación del Instituto a la ciencia, porque es de los jóvenes, en términos generales, y no de los veteranos del Instituto ni, menos, de los Grandes Viejos, de donde saldrá la ciencia nueva e importante. En este asunto el Instituto se comporta tan utópicamente que no cabe pedir más.

La dura realidad entra en escena en forma de un profesorado permanente. Las cuestiones en litigio quedan bastante claramente definidas en una famosa y ya vieja conversación que tuvo lugar entre J. Robert Oppenheimer y Deane Montgomery:

—Quiero contratar a los mejores del mundo —dijo Montgomery.

—Eso lo comprendo —dijo Oppie—, pero hay que ver la forma de que encajen armoniosamente en el conjunto.

En esto Oppie se equivocaba. Si hay algo que sobra en el Instituto es, sin duda, concordia y serenidad. No hay tensiones, ni crepita el aire, ni se percibe la menor huella de que haya genios locos al acecho por sus pasillos.

—A mí me gustaría que hubiera más locos por aquí —dijo en cierta ocasión Freeman Dyson.

Ni más ni menos.

La solución, sin embargo, no consiste en atraer a estudiantes graduados al Instituto, ni en instalar laboratorios o aceleradores lineales o cualquier otro fomentador artificial de confusión de este o parecido tipo. Lo que el Instituto Idealmente Perfecto necesita más que ninguna otra cosa es un par de erizos entre sus profesores. Con bastante frecuencia los genios más creadores del mundo resultan

ser esnobs dominantes y egoístas, pero en el Instituto no hay nadie que sea así, porque el Instituto ha conseguido alcanzar la benigna armonía del cielo perfecta y límpidamente azul. Pero hay un principio fundamental de la estética, según el cual la más rara y perfecta belleza se consigue precisamente añadiendo un detalle incongruente a un conjunto que, en lo demás, es uniforme y coherente. Un poco de simetría violada, un poco de ambigüedad deliberada, un poco de fantasía cromática entre los tonos armoniosos, y se consigue unidad orgánica en lo que hasta entonces no era más que igualdad mecánica.

Lo mismo ocurre con las instituciones. Para equilibrar toda la armonía y toda la concordancia, la institución necesita disonancia, necesita trueno, necesita cierta extraña proporción...

... y también necesita a sus Grandes Antiguos, a esos viejos que arrastran los pies por los pasillos, que hacen tintinear las tazas de té, que se adormecen en plena tarde. En cierto modo esos iconos vivos son la gente más importante, porque son la memoria de la institución, su vínculo con el pasado, una visión de edades de oro lejanas en tiempo y en espacio. Para ellos el Instituto es —y, en realidad, debiera ser— un lugar de reposo final, una gran recompensa, una tierra de juguetes.

Una mañana, a eso de las nueve y media, Otto Neugebauer entra en el comedor del Instituto dispuesto a desayunar. Neugebauer es, literalmente, un hombre de otra era, porque nació en otro siglo, en el año 1899. Estuvo en la Universidad de Göttingen en los buenos tiempos, cuando David Hilbert era director de su Instituto de

Matemáticas y cuando Heisenberg, Pauli, Oppenheimer, Dirac, todos los grandes dioses de la ciencia, fueron a Göttingen y fundaron allí el nuevo orden de la física. Todos los demás están ya muertos, pero aún nos queda Otto Neugebauer, que se desliza por el comedor del Instituto, muy airoso con su traje marrón claro, su camisa almidonada, su corbata, como dispuesto a enfrentarse con todo el comité directivo. Observarle cruzar la estancia es como ver un fantasma, pero ahí le tenemos a tamaño natural, con sus mejillas rosadas y su cabello blanquísimo.

Aunque ya ha pasado con mucho la edad de la jubilación, Neugebauer irá esta mañana a su despacho, como todos los días de la semana, sin faltar uno, porque sigue siendo —después de tantísimo tiempo— trabajador muy activo. Subirá al tercer piso de Fuld Hall a estudiar algunos de sus libros y sus artículos sobre la astronomía antigua, que es su tema favorito. A lo mejor llama a algún otro especialista del Instituto, o a algún profesor de Princeton, para aclarar un detalle de astrofísica. A lo mejor escribe unas cuantas líneas con su letra desigual. A las doce bajará a comer, y a la hora del té tampoco dejará de aparecer por el comedor. Pero, aparte de estas salidas, estará siempre en su despacho, leyendo y trabajando, manteniendo encendido el fuego sagrado. No hay manera de parar a Otto Neugebauer.

Neugebauer termina de desayunar y está a punto de levantarse para ir a su despacho cuando entra en el comedor Deane Montgomery.

Montgomery, con sus setenta y siete años solamente, es casi un jovencillo al lado de Neugebauer. Está en su despacho desde las

siete y media de esta mañana, leyendo matemáticas y pensando en sus retorcidas formas topológicas. También él es un icono vivo. Un susurro de edades pasadas. Cuando se detiene un momento a charlar con Neugebauer es como asistir a un instante metafísico, un trozo de historia que tiene lugar justo delante de uno.

Al cabo de unos segundos de charla de viejos compañeros, Neugebauer se va con pasos cortos y arrastrados camino de su trabajo, mientras Montgomery se dirige al mostrador a por un vaso de zumo de tomate, que bebe de un solo trago. Al salir del comedor deja cincuenta centavos en la cesta del dinero. Otto Neugebauer y Deane Montgomery desaparecen del comedor, que sigue desierto durante un rato, desierto de sus hijos de la edad de oro.

## **Apéndice**

### **Programas para el conjunto de Mandelbrot y autómatas celulares**

Dos capítulos de este libro (el capítulo cuarto, titulado «Contemplad las formas», y el capítulo décimo, «El equipo lógico de la naturaleza») tratan de temas matemáticos que son relativamente fáciles de producir con un ordenador personal. A continuación damos programas básicos para el conjunto de Mandelbrot y para autómatas celulares, escritos por John Milnor y Nicholas Tufillaro, respectivamente, a quienes tengo que dar las gracias por permitir su publicación en estas páginas.

```

0 REM: BASIC program for the Mandelbrot set. Program written by
1 REM: John Milnor, Institute for Advanced Study, January 14, 1986.
2 REM: Macintosh version (Microsoft BASIC 2.0) by Linda Eshleman
3 REM: and Ed Regis for monochrome 512 x 342-pixel screen.
4 REM: For more accuracy (but less speed), insert 15 DEFDBL A, B, W-Y
5 REM: Inputs for: a-center      b-center  screenwidth  h0  h1  h2
6 REM: Whole set:  -.765        .21203      2.5         12  18  60
7 REM: Top part:   -.11         1.02        .27         13  18  100
8 REM: Right side: .442         .338        .06         20  32  120
9 REM: Pix-size: Choose 1 for high-res and slow; 8 for low-res and fast.
10 DEFINT C-P
20 PRINT "Plot of those a + ib for which the orbit of zero under the map"
25 PRINT " x + iy → (x + iy)*(x + iy) + (a + ib) is bounded"
30 INPUT "a-center"; ACENT: INPUT "b-center"; BCENT: INPUT "screenwidth"; WID
35 PRINT "Color cutoff points (say 10, 20, 60)"
40 INPUT "h0="; H0: INPUT "<h1="; H1: INPUT "<h2="; H2
50 INPUT "pix-size (1,2,4,5 or 8)"; PS
60 ASCALE = PS*WID/512: BSCALE = 1.18*ASCALE
70 AMIN = ACENT -256*ASCALE/PS: BMAX = BCENT +171*BSCALE/PS
80 CLS: REM: Screen now in graphic mode, ready to go
100 FOR I=0 TO 512/PS-1: A=AMIN + I*ASCALE
110 FOR J=0 TO 342/PS-1: B=BMAX - J*BSCALE: X=0: Y=0
120 FOR H=0 TO H2
130 XNEW = X*X - Y*Y + A: REM: Computing (X + iY)*(X + iY) + (A + iB)
140 Y = 2*X*Y + B: X=XNEW
150 IF X*X+Y*Y > 342 THEN GOSUB 800 ELSE NEXT H
200 NEXT J,I
300 IF INKEY$=" " THEN 300: REM: Done; waiting for input before restart.
310 PRINT "Center = ("; ACENT; BCENT; "), width = "; WID
320 PRINT "h = ("; H0; H1; H2; ")": GOTO 30
800 IF H<H0 THEN COL=1 ELSE IF H<H1 THEN COL=3 ELSE COL=2
810 FOR K=0 TO PS-1: FOR L=0 TO PS-1: PSET (I*PS +K, J*PS +L), COL:
NEXT L, K
820 RETURN

```

```
10 REM Cellular Automata Program
15 REM Mod 2 Cellular Automata Rule. Initial value: single site
20 REM Macintosh Microsoft BASIC 2.1 Version
30 REM Copyright 1986 by Nicholas B. Tufillaro.
40 DEFINT i,j,k
50 REM Site arrays, R is current row, Q is previous row
60 DIM R(512), Q(512)
70 DEFINT XMAX, YMAX: XMAX = 512: YMAX = 342
75 REM Initial Value single site at top center of screen.
80 Q(255) = 1: PSET (255, 0)
90 FOR n=1 TO YMAX-1
100  FOR j=0 TO XMAX-1
120    i=j-1
130    IF i=-1 THEN i=XMAX-1
140    k=j + 1
150    IF k=XMAX THEN k=0
160    REM Cellular Automata Rule "Mod 2"
170    site = (Q(i) + Q(k)) MOD 2
180    R(j) = site
190    IF site=1 THEN PSET (j,n)
200  NEXT j
210  FOR j=0 TO XMAX-1
220    Q(j) = R(j)
230  NEXT j
240 NEXT n
250 END
```



## Fuentes

### Fuentes de tipo general sobre el Instituto de Estudios Avanzados

- *A Community of Scholars. Institute for Advanced Study. Faculty and Members, 1930-1980*. Princeton: Instituto de Estudios Avanzados, 1980.
- *Annual Report* (Informe Anual), Instituto de Estudios Avanzados. 1980/81-1984/85.
- *Bulletin* (Boletín). Números 1-12. Instituto de Estudios Avanzados, 1930-1946. Se trata de una serie de folletos en los que se describe el Instituto y se dan listas de su personal y de sus miembros. Publicación anual, excepto en los años 1931, 1932, 1942, 1943 y 1944.
- Christy, Duncan, «Life in the “Intellectual Zoo”». *M* (julio de 1986): 78.
- Corry, John, «Visit to an Intellectual Hotel», *New York Times Magazine* (15 de mayo de 1966): 50.
- Davies, John, «The Institute for Advanced Study», *Princeton Magazine* (agosto, septiembre, octubre de 1982).
- Jones Landon Y., Jr., «Bad Days on Mount Olympus», *The Atlantic* (febrero de 1974): 37. Trata principalmente de la batalla para echar de la dirección a Cari Kaysen.
- Kaysen, Cari, *Report of the Director, 1966-1976*, Princeton: Instituto de Estudios Avanzados, 1976.

- Regis, Edward, Jr., «Einstein's Sanctum», *Omni* (septiembre de 1984): 88.
- Stern, Beatrice M., *A History of the Institute for Advanced Study, 1930-1950*. Manuscrito inédito en dos tomos, 1964. Hay una copia en microfilm de este manuscrito entre los artículos de J. Robert Oppenheimer, en la Biblioteca del Congreso, en Washington D.C. (Catálogo de registro de adquisiciones 16 646). Hay una copia en papel carbón del manuscrito original en las Colecciones Especiales de la Biblioteca Hoover, en la Universidad de Western Maryland, Westminster, Maryland, 21 157.
- Stuckey, William K., «The Garden of Lonely Wise», *Science Digest* (febrero de 1975): 28.

## 1. El Cielo Platónico

- Blanshard, Francés, *Frank Aydelotte of Swarthmore*, Middletown, Connecticut: Wesleyan University Press, 1970. Es una biografía del segundo director del Instituto.
- Flexner, Abraham, *An Autobiography*, Nueva York: Simon and Schuster, 1960. Se trata de una revisión del libro autobiográfico *I Remember*, de Flexner, publicado en 1940.
- Howie, Diana M., «The Legacy of Louis Bamberger», *New Jersey Monthly* (septiembre de 1984): 44.
- «L. Bamberger, Philanthropist», *Newark Evening News*, 12 de marzo de 1944.
- «Louis Bamberger», *Sunday Star Ledger*, 12 de marzo de 1944.

## 2. El papa de la física

- Clark, Ronald W., *Einstein: The Life and Times*, Nueva York y Cleveland: World, 1971. Exposición divulgativa de la vida de Einstein.
- Dukas, Helen, y Banesh Hoffmann (compiladores), *Albert Einstein: The Human Side. New Glimpses from His Archives*, Princeton: Princeton University Press, 1979. Colección de epigramas y frases profundas e ingeniosas de Einstein sobre diversos temas, compilada por la secretaria de Einstein y por su biógrafo.
- French, A.P. (compilador), *Einstein: A Centenary Volume*, Cambridge, Massachusetts: Harvard University Press, 1979. Evocaciones y ensayos sobre Einstein; contiene extractos de las cartas y las obras publicadas de Einstein.
- Herbert, Nick, *Quantum Reality: Beyond the New Physics*, Nueva York: Doubleday/Anchor, 1985. Exposición divulgativa de la Paradoja Einstein/Podolsky/Rosen y del teorema de Bell.
- Hoffmann, Banesh, y Helen Dukas, *Albert Einstein: Creator and Rebel*, Nueva York: Viking, 1972.
- Holton, Gerald, y Yehuda Elkana (compiladores), *Albert Einstein: Historical and Cultural Perspectives*, Princeton: Princeton University Press, 1982.
- Maranto, Gina, «Einstein's Brain», *Discover* (mayo de 1985): 29. La curiosa historia del único resto mortal de Albert Einstein.
- Mermin, N. David, «Is the Moon There When Nobody Looks?, Reality and the Quantum Theory», *Physics Today* (abril de

1985). La Paradoja Einstein/Podolsky/Rosen, el teorema de Bell y «acciones fantasmales a distancia».

- Pais, Abraham, «*Subtle is the Lord...*». *The Science and the Life of Albert Einstein*, Oxford y Nueva York: Oxford University Press, 1982. Exposición autorizada de la vida y la ciencia de Einstein por un físico que conoció a Einstein durante los seis años que éste pasó en el Instituto.
- Sayen, Jamie, *Einstein in America*, Nueva York, Crown Publishers, 1985.
- Schilpp, Paul Arthur (compilador), *Albert Einstein: Philosopher-Scientist*, dos tomos, 1949, LaSalle, Illinois: Open Court, 1982. Importante colección en dos volúmenes de artículos sobre Einstein, contiene la autobiografía de Einstein y una réplica a sus críticos.
- Wheeler, John Archibald, y Wojciech Zurek (compiladores), *Quantum Theory and Measurement*. Princeton: Princeton University Press, 1983. Colección de artículos sobre la Paradoja Einstein/Podolsky/Rosen y la Desigualdad de Bell; contiene el informe original de Einstein, Podolsky y Rosen, así como también las réplicas de Niels Bohr.
- Woolf, Harry (compilador), *Some Strangeness in the Proportion*, Reading, Massachusetts: Addison-Wesley, 1980. Actas de un simposio celebrado en honor de Albert Einstein con motivo de su centenario en el Instituto de Estudios Avanzados en marzo de 1979.

### 3. El Grande, Alto, Excelso Soberano Místico

- Benacerraf, Paul, y Hilary Putnam (compiladores), *Philosophy of Mathematics: Selected Readings*. Englewood Cliffs, Nueva Jersey: Prentice-Hall, 1964. Contiene los artículos de Gödel titulados «Russel's Mathematical Logic» y «What Is Cantor's Continuum Problem?».
- Dawson, John (Traductor y compilador), «Discussion on the Foundation of Mathematics», *History and Philosophy of Logic* 5 (1984): 111. Es una traducción al inglés del debate que siguió a la primera declaración pública de Kurt Gödel sobre su teorema del estado incompleto. Observaciones de Hans Hahn, Rudolf Carnap, John von Neumann, Arnold Scholz, Arend Heyting y Kurt Gödel.
  - «Kurt Gödel in Sharper Focus», *The Mathematical Intelligencer* 6 (1948): 9. Breve esbozo biográfico de Kurt Gödel; contiene fotografías de la casa donde Gödel pasó su niñez en Brno, Checoslovaquia, una página del primer libro de estudio de aritmética de Gödel y la hoja del libro de notas de Gödel correspondiente a febrero de 1917, en la que se ve que Gödel recibió la nota más alta posible en todas las asignaturas, excepto en matemáticas.
  - «Cataloguing the Gödel Nachlass at the Institute for Advanced Study», *Abstracts of the 7th International Congress of Logic, Methodology, and Philosophy of Science* 6 (1983): 59.
- Feferman, Solomon, y otros (compiladores), *Kurt Gödel: Collected Works*. Tomo Primero: Publicaciones 1929-1936.

Oxford: Oxford University Press, 1986. Contiene un importante ensayo biográfico de Feferman, una de las pocas fuentes de información que tenemos sobre Kurt Gödel.

- Gödel, Kurt, «An Example of a New Type of Cosmological Solutions of Einstein's Field Equations of Gravitation», *Reviews of Modern Physics* 21 (julio de 1949): 447. Presenta la teoría de Gödel de viaje temporal.
  - «A Remark about the Relationship between Relativity Theory and Idealistic Philosophy». En el volumen de Shilpp, véase más arriba.
- Heijenoort, Jean van (compilador), *From Frege to Gödel*, Cambridge, Massachusetts: Harvard University Press, 1967. Contiene traducción al inglés del famoso artículo de Gödel de 1931 sobre proposiciones indecidibles.
- Hofstadter, Douglas R., *Gödel, Escher, Bach: An Eternal Golden Braid*, Nueva York: Vintage Books, 1980. Libro original, profundo y brillante; desde cualquier punto de vista, su lectura es una experiencia inolvidable.
- Kline, Morris, *Mathematics: The Loss of Certainty*, Nueva York: Oxford University Press, 1980. Debate los resultados de Gödel en un capítulo titulado «Disasters».
- Kreisel, G. «Kurt Gödel». *Biographical Memoirs of Fellows of the Royal Society* 26 (1981): 148. Examen exhaustivo, a veces ingenioso, de la vida y la obra de Gödel; contiene observaciones claras y sinceras sobre la personalidad y las depresiones de

Gödel, hechas por una persona que le conoció durante sus años de Princeton.

- Rucker, Rudy, *Infinity and the Mind*, Nueva York: Bantam Books, 1982. Intento de convencer al lector de que la infinitud es real; se nos ofrece «completa, con ilustraciones, acertijos y paradojas por resolver», y contiene las «Conversaciones con Gödel» del autor.

#### 4. Contemplad las formas

- Albers, Donald J., y G. L. Alexanderson (compiladores), *Mathematical People: Profiles and Interviews*, Boston: Birkhäuser, 1985.
- Bourbaki, Nicholas (¿André Weil?), «The Architecture of Mathematics», *American Mathematical Monthly* 57 (1950): 221.
- Campbell, Douglas M., y John C. Higgin, (compiladores), *Mathematics: People, Problems, Results*, 3 tomos, Belmont, California: Wadsworth, 1984.
- Davis, Philip J., y Reuben, Hersh, *The Mathematical Experience*, Boston, Houghton Mifflin, 1981.
- Dewdney, A. K., «Computer Recreations», *Scientific American* (agosto de 1985): 16. Indicaciones para la programación del conjunto de Mandelbrot.
- Dieudonné, Jean, «The Word of Nicholas Bourbaki», *American Mathematical Monthly* 77 (1970): 134.
- Gardner, Martin, «Mathematical Games», *Scientific American* (diciembre de 1976): 124. Explica las «curvas monstruosas», como la curva de Hilbert y el copo de nieve de Koch.

- Gleick, James, «The Man Who Reshaped Geometry», *New York Times Magazine* (8 de diciembre de 1985): 64. Perfil de Benoit Mandelbrot.
- Grillo, John P, «Fractal Trees», *Nibble Mac* (enero/febrero de 1986): 48. Da el programa (escrito en Microsoft BASIC para Macintosh) para producir el árbol fractal que se ve en la ilustración de la página 116 de este libro.
- Halmos, Paul, «Nicholas Bourbaki», *Scientific American* (mayo de 1957): 88.
- Henney, Dagmar Renate, «Bourbaki. A French General — or a Mysterious Society?», *Mathematics Magazine* 36 (septiembre/octubre de 1963): 252.
- Kline, Morris, *Mathematics and the Search for Knowledge*, Nueva York: Oxford University Press, 1985.
- Mandelbrot Benoit B., Entrevista, *Omni* (febrero de 1984): 65.  
— *The Fractal Geometry of Nature* (edición revisada), Nueva York: W. H. Freeman, 1983.
- Newman, James R. (compilador), *The World of Mathematics*, 4 tomos, Nueva York: Simon and Schuster, 1956.
- Reid, Constance, *Hilbert*, Nueva York: Springer-Verlag, 1970.
- Richards, Ian, «Number Theory», *Mathematics Today* (compilador Lyn Arthur Steen), Nueva York: Springer-Verlag, 1978.
- Stein, Kathleen, «The Fractal Cosmos», *Omni* (febrero de 1983): 63.



- Weil, André, «The Future of Mathematics», *American Mathematical Monthly* 57 (1959): 295.

## 5. Juanito el vividor

- Bass, Thomas, *The Eudaemonic Pie*, Boston: Houghton Mifflin, 1985. Las primeras aventuras de J. Doyne Farmer, Norman Packard y sus amigos cuando trataron de vencer a la ruleta con una teoría de sistemas dinámicos. Aparecieron extractos de este libro en *Science Digest*, abril y mayo de 1985.
- Blair, Clay, «Passing of a Great Mind», *Life* (25 de febrero de 1957): 89. Perfil de John von Neumann, publicado poco tiempo después de su muerte.
- Dyson, Freeman, *Disturbing the Universe*, Nueva York: Harper & Row, 1979. El capítulo 18, «Thought Experiments», es una evocación sobre John von Neumann y su obra en el Instituto.
  - «The Future of Physics», *Physics Today* (1970): 25. Contiene las valoraciones de Dyson del proyecto de ordenador del Instituto de Estudios Avanzados, y también sobre el Instituto mismo.
- Goldstine, Herman H., *The Computer from Pascal to Von Neumann*, Princeton: Princeton University Press, 1980. Contiene varios capítulos sobre Von Neumann y el ordenador del Instituto de Estudios Avanzados escritos por un miembro del Instituto que trabajó en el proyecto ENIAC y también en el del ordenador del Instituto.
- Goldstine, Hermán H., y Eugene Wigner, «Scientific Work of J. von Neumann», *Science* (1957): 683.

- Halmos, P. R., «The Legend of John von Neumann», *American Mathematical Monthly* 80 (1973): 382. Reeditado en *Mathematics: People, Problems, Results*, de Douglas M. Campbell y John C. Higgins (compiladores), 3 tomos, Belmont, California: Wadsworth, 1984.
- Heims, Steve J., *John von Neumann and Norbert Wiener*, Cambridge, Massachusetts: The MIT Press, 1980. Biografías.
- Kemeny, John G. «Man Viewed as a Machine», *Scientific American* 192 (1955): 58. Exposición elemental de la máquina de Turing y de los autómatas autorreproductores de Von Neumann.
- Tipler, Frank J., «Extraterrestrial Intelligent Beings Do Not Exist», *Quarterly Journal of the Royal Astronomical Society* 21 (1980): 267. Reeditado en *Extraterrestrials: Science and Alien Intelligence*, de Edward Regis, Jr. (compilador), Cambridge, Inglaterra: Cambridge University Press, 1985.
- Ulam, S.M., *Adventures of a Mathematician*, Nueva York: Scribner's, 1983. Contiene muchas evocaciones sobre Von Neumann de un íntimo amigo suyo que también era matemático.
  - «John von Neumann, 1903-1957», *Bulletin of the American Mathematical Society* 64 (1958): 1. Extenso examen de la vida y la obra de Von Neumann.
- Von Neumann, John, *Theory of Self-Reproducing Automata* (compilado y completado por Arthur Burks), Urbana and London: University of Illinois Press, 1966.

- Wiener, Norbert. *I am a Mathematician*, Cambridge, Massachusetts: The MIT Press, 1956. Contiene evocaciones sobre Von Neumann y Julián Bigelow.

## 6. El hombre de nim, nim, nim

- Bacher, Robert F., «Robert Oppenheimer», *Proceedings of the American Philosophical Society* 116 (1972): 279.
- Bernstein, Barton J., «In the Matter of J. Robert Oppenheimer», *Historical Studies in the Physical Sciences* 12 (1982): 195. Exposición detallada del proceso Oppenheimer; utiliza informes del FBI y otra información «secreta» recientemente hecha pública.
  - «The Oppenheimer Conspiracy», *Discover* (marzo de 1985): 22. Versión popular del libro anterior.
- Bernstein, Jeremy, «A Question of Parity», *A Comprehensible World*, Nueva York: Random House, 1967. Las vidas y la obra de T. D. Lee y C. N. Yang.
- Goodchild, Peter, *J. Robert Oppenheimer: Shatterer of Worlds*, Boston: Houghton Mifflin, 1981. Biografía profusamente ilustrada.
- Hammond, Lansing V., «A Meeting with Robert Oppenheimer», Manuscrito inédito, 1979.
- Kipphardt, Heinar, *In the Matter of J. Robert Oppenheimer* (traducido por Ruth Speirs), Nueva York: Hill and Wang, 1968. Obra teatral basada en las transcripciones del caso Oppenheimer; la reacción de Oppie consistió en comentar que el autor había tratado de convertir una farsa en una tragedia.

- Lamont, Lansing, *Day of Trinity*, Nueva York: Atheneum, 1965. Retrato vivido y dramático de los científicos de Los Álamos y de la prueba de Trinity.
- Lee, T. D., «Broken Parity», *T. D. Lee: Selected Papers*, Tomo 3, Boston: Birkhäuser, 1986. Sección 4, «Broken Friendship». Da la versión de Lee de su ruptura con Frank Yang.
- Michelmore, Peter, *The Swift Years: The Robert Oppenheimer Story*, Nueva York: Dodd, Mead, 1969.
- Morrison, Philip, «The Overthrow of Parity», *Scientific American* 196 (1957): 45. La obra de Yang y Lee en la desintegración de la simetría por reflexión.
- «A New World, A Mystic World», *Time* 126 (29 de julio de 1985): 40. Los Álamos y Trinity, visitados de nuevo cuarenta años después del acontecimiento.
- Oppenheimer, H. Robert. Entrevista hecha por Thomas S. Khun. *American Institute of Physics* (18 y 20 de noviembre de 1963).
- Oppenheimer, J. R., y Robert Serber, «On the Stability of Stellar Neutron Cores», *Physical Review* 54 (1 de octubre de 1938): 540.
- Oppenheimer, J. R., y H. Snyder. «On Continued Gravitational Contraction», *Physical Review* 56 (1 de septiembre de 1939): 455.
- Oppenheimer, J. R., y G. M. Volkoff, «On Massive Neutrón Cores», *Physical Review* 55 (15 de febrero de 1939): 374.

- Rabi, I. I., y otros, *Oppenheimer*, Nueva York: Scribner's, 1969. Recuerdos y evocaciones de I. I. Rabi, Robert Serber, Victor Weisskopf, Abraham Pais y Glenn Seaborg.
- Smith, Alice Kimball, y Charles Weiner (compiladores), *Robert Oppenheimer: Letters and Recollections*. Cambridge, Massachusetts: Harvard University Press, 1980. Importante obra de referencia sobre la vida de Oppenheimer hasta 1945. A partir de entonces, irregular.
- Strauss, Lewis L., *Men and Decisions*, Nueva York: Doubleday, 1962.
- Szasz, Ferenc Morton, *The Day the Sun Rose Twice: The Story of the Trinity Site Nuclear Explosión July 16, 1945*, Albuquerque: University of New México Press, 1984. Corrige ciertos errores del libro de Lansing Lamont sobre el mismo tema.
- Comisión Norteamericana de Energía Atómica (United States Atomic Energy Commission), *In the Matter of J. Robert Oppenheimer: Transcript of Hearing before Personnel Security Board, Washington, D.C., April 12, 1954 through May 6, 1954*, Washington, D.C. Editora estatal (Government Printing Office), 1954.
- Wilson, Jane (compiladora), *All in Our Time: The Reminiscences of Twelve Nuclear Pioneers*, Chicago: Bulletin of the Atomic Scientists, 1975.

- Yang, Chen Ning, *Selected Papers, 1945-1980, with Commentary*. San Francisco, W.H. Freeman, 1983. Contiene la versión de Yang de su ruptura con T. D. Lee.

## 7. Burbujas, burbujas, trabajos y líos

- Bartusiak, Marcia, «The Bubbling Universe», *Science Digest* (febrero de 1986): 64.
- Davis, Marc, Piet Hut, y Richard A. Mueller, «Extinction of Species by Periodic Comet Showers», *Nature* 308 (19 de abril de 1984): 715.
- de Lapparent, Valérie, Margaret J. Geller, y John P. Huchra, «A Slice of the Universe». Centro de Astrofísica Harvard-Smithsonian. Prepublicación 2231 (1985), *Astrophysical Journal (Letters)* 302 (1986).
- Kutner, M. L., y otros, «The Molecular Complexes in Orion», *Astrophysical Journal* 215 (15 de julio de 1977): 521.
- Schwarzschild, Bertram, «Redshift Surveys of Galaxies Find a Bubbly Universe», *Physics Today* (mayo de 1986): 17.

## 8. Llevando la antorcha

- [Adler, Stephen L.]. «Physics and Astronomy at the Institute for Advanced Study, 1960-1980», Manuscrito inédito, sin fecha.
- Bernstein, Jeremy, «Pauli's Puzzle», *Science Digest* (agosto de 1986): 41. Wolfgang Pauli y el neutrino.
- Crease, Robert P., y Charles C. Mann, *The Second Creation: Makers of the Revolution in Twentieth-Century Physics*, Nueva York: Macmillan, 1986. Historia, brillantemente escrita, de la

física de partículas. Hace énfasis en las personalidades, pero consigue explicar complejas teorías con claridad y vivacidad.

- Feynman, Richard P., *QUED: The Strange Theory of Light and Matter*, Princeton: Princeton University Press, 1985. Exposición clara e ingeniosa de lo que se sabe de física, en contraste con lo que todavía sólo se investiga y se especula.
- Feynman, Richard P., y otros, *The Feynman Lectures on Physics*, 3 tomos, Reading, Massachusetts: Addison-Wesley, 1963. La revista *Time* pidió una vez a Carl Sagan que hiciera una lista de los seis libros que cualquier persona culta debiera haber leído. *The Feynman Lectures*, tomo primero, estaba el primero en la lista de Sagan.
- Pais, Abraham, *Inward bound: Of Matter and Forces in the Physical*, Oxford, Clarendon Press, 1986. Se trata de una historia de la física de partículas que hace hincapié en la ciencia y no en la gente, escrita por uno de sus protagonistas, que parecía conocer personal e íntimamente a todos los demás cultivadores de esta disciplina.

## 9. La verdad sobre las cosas

- Bahcall, John, «The Problem of Solar Neutrinos», Seminario Vassar sobre las fronteras de las ciencias naturales, Colegio Universitario Vassar, Poughkeepsie, Nueva York. Transcripción de borrador inédito, 26 de febrero de 1976.
- Bahcall, John N., y Raymond Davis, Jr, «An Account of the Development of the Solar Neutrino Problem», Charles A.

Barnes y otros (Compiladores), *Essays in Nuclear Astrophysics*, Cambridge, Inglaterra: Cambridge University Press, 1982.

— «Solar Neutrinos: A Scientific Puzzle», *Science* 191 (23 de enero de 1976): 264.

- Finkbiner, Ann, «Paradigm Lost?», *Johns Hopkins Magazine* (junio de 1985): 25. Resumen de una charla dada por Kuhn en la Universidad Johns Hopkins; los científicos cuya opinión se pidió votaron diez a uno que lo que ellos describían era «la realidad objetiva» y no una simple «interpretación».
- Kuhn, Thomas S., *The Essential Tension*, Chicago: University of Chicago Press, 1977.
  - *The Structure of Scientific Revolution* 2.<sup>a</sup> ed. Chicago: University of Chicago Press, 1970.
- Pollie, Robert, «Brother, Can You Paradigm?», *Science* 83 (julio/agosto de 1983): 76. Uno de los más grandes títulos de artículo de revista que existen; aventuras de elegancia paradigmática e ingenio cósmico al día.
- Shapere, Dudley, «External and Internal Factors in the Development of Science», *Science and Technology Studies* 4 (1986): 1.
  - «The Concept of Observation in Science and Philosophy», *Philosophy of Science* 49 (1982): 485.
  - *Reason and the Search for Knowledge*, Dordrecht, Holanda: Reidel, 1983.



— «The Paradigm Concept», *Science* 172 (14 de mayo de 1971): 706. Reseña del libro de Kuhn *The Structure of Scientific Revolutions*, hecha por el crítico más acérrimo.

#### 10. El equipo lógico de la naturaleza

- Dewdney, A. K., «Computer Recreations», *Scientific American* 252 (mayo de 1985): 18. Contiene el reto de Stephen Wolfram a los fanáticos del ordenador.
- Levy Steven, «The Portable Universe», *Whole Earth Review* (invierno de 1985): 42. Stephen Wolfram y los autómatas celulares, por el autor de *Hackers*.
- Poundstone, William, *The Recursive Universe: Cosmic Complexity and the Limits of Scientific Knowledge*. Nueva York: Morrow, 1985. Descripción detallada del juego *Vida*; también examina los autómatas autorreproductores de Von Neumann.
- Wolfram, Stephen, «Cellular Automata», *Los Alamos Science* (otoño de 1983): 2. Buena exposición introductora de los autómatas celulares, con muchas ilustraciones, entre las que hay una de Wolfram con su famosa concha en la mano.
  - «Cellular Automata as Models of Complexity», *Nature* 311 (4 de octubre de 1984): 419. Exposición de tipo más técnico.
  - «Computer Software in Science and Mathematics», *Scientific American* 251 (septiembre de 1984): 188. Exposición clara, pero profunda, de cómo los autómatas celulares pueden ser modelos únicos para el estudio de fenómenos irreductiblemente complejos.

— «Statistical Mechanics of Cellular Automata», *Reviews of Modern Physics* 55 (1983): 601. Extenso examen y clasificación técnica de los autómatas celulares y de sus aplicaciones a los problemas de la física.

## 11. Más allá de lo invisible

- Crease, Robert P. y Charles C. Mann, «The Gospel of String», *The Atlantic* (abril de 1986): 24. Teoría de cuerdas para principiantes.
- Freedman, Daniel Z., y Peter von Nieuwenhuizen, «The Hidden Dimensions of Spacetime», *Scientific American* (marzo de 1985): 74. De cómo la maniobra Kaluza-Klein esconde dimensiones no deseadas.
- Ginsparg, Paul, y Sheldon Glashow, «Desperately Seeking Superstrings?», *Physics Today* (mayo de 1986): 7. Los autores responden a esta pregunta: «¿Por qué está siempre atado con cuerdas todo lo bueno?».
- Green, Michael B., «Superstrings», *Scientific American* 255 (septiembre de 1986): 48. Introducción fiable al universo de las supercuerdas.
  - «Unification of Forces and Particles in Superstring Theories», *Nature* 314 (4 de abril de 1985): 409. Exposición semitécnica de la teoría de supercuerdas.
- Kolb, Edward W., y otros, «The Shadow World of Superstring Theories», *Nature* 314 (4 de abril de 1985): 415. «Es como si el lector estuviese viviendo en el interior de una montaña

fantasmal o en el fondo de un océano de sombras», dicen los autores.

- Schwarz, John H., «Completing Einstein», *Science* 85 (noviembre de 1985): 60. Exposición elemental de la teoría de supercuerdas hecha por la persona que más ha contribuido a su éxito.
  - «Dual-Resonance Models of Elementary Particles», *Scientific American* (febrero de 1975): 61. Trayectorias de Regge, Amplitudes de Veneziano, y la «antigua» teoría de cuerdas.
- Schwazschild, Bertram M., «Anomaly Cancellation Launches Superstring Bandwagon», *Physics Today* (julio de 1985): 17. Examen de los recientes avances de la teoría de cuerdas.
- Taubes, Gary, «Everything's Now Tied to Strings», *Discover* (noviembre de 1986): 34. Exposición popular, divulgativa.

## 12. Criaturas en el reino de los juguetes

- Feynman, Richard P., *Surely You're Joking, Mr. Feynman!*, Nueva York: Norton, 1985. Ni una sola página de este libro resulta pesada.

## El autor

Edward Regis, Jr. (nacido en 1944) —conocido como Ed Regis— es un filósofo estadounidense, educador y autor. Se especializa en libros y artículos sobre la ciencia, la filosofía y la inteligencia. Sus temas han incluido la nanotecnología, el transhumanismo y la guerra biológica. Sus artículos han aparecido en varias revistas científicas, incluyendo las revistas *Scientific American*, *Harper's Magazine*, *Wired*, *Discover*, *The New York Times*, *Journal of Philosophy*, *Ethics* y la *American Philosophical Quarterly*.

