CAPITULO 23

MAXWELL

Y LOS

«BICHOS RAROS»[39]

---

[39] *Nerds* en el original. En Estados Unidos se aplica esta palabra a un grupo bastante nutrido de personas, científicos y otros, con un comportamiento y significación social que no tiene equivalente en español. «Bichos raros» me ha parecido el calificativo más cercano al término. *(N. de la t.)*

¿Por qué tenemos que subvencionar la curiosidad intelectual?

RONALD REAGAN,
discurso de campaña, 1980

Nada puede merecer más nuestro patrocinio que la promoción de la ciencia y la literatura. El conocimiento es en todos los países la base más segura de la felicidad pública.

GEORGE WASHINGTON, discurso en el Congreso, 8 de enero de 1790

Abundan los estereotipos. Se hacen estereotipos de grupos étnicos, de ciudadanos de otras naciones y religiones, de géneros y preferencias sexuales, de personas nacidas en distintos momentos del año (la astrología de los signos del Sol) y de las profesiones. La interpretación más generosa lo achaca a una suerte de pereza intelectual: en lugar de juzgar a la gente por sus méritos y defectos individuales, nos concentramos en un par de detalles de información sobre ellos y a continuación los colocamos en una serie de casillas previamente establecidas.

Con eso nos ahorramos el esfuerzo de pensar, al precio en muchos casos de cometer una profunda injusticia. También nos protege del contacto con la enorme variedad de personas, la multiplicidad de las maneras de ser humanas. Aun en el caso de que el estereotipo fuera válido como promedio, está destinado a fracasar en muchos casos individuales. La diversidad humana se traduce en curvas en forma de campana. Hay un valor medio de cada cualidad y un pequeño número de personas que se alejan de él por ambos extremos.

Algunos estereotipos se producen como resultado de no controlar las variables, de olvidar qué otros factores podrían estar en juego. Por ejemplo, antes no había prácticamente ninguna mujer en la ciencia. Muchos científicos varones eran terminantes: eso demostraba que a las mujeres les faltaba capacidad para hacer ciencia. Por temperamento no les iba, la encontraban demasiado difícil, requería un tipo de inteligencia que las mujeres no tienen, eran demasiado emocionales para ser objetivas, ¿ha habido algún gran físico |teórico que fuera mujer?... y así sucesivamente. Desde entonces, las barreras se han ido desmoronando. Hoy las mujeres pueblan la mayoría de las disciplinas de la ciencia. En mi propio terreno de estudios astronómicos y planetarios, las mujeres han irrumpido en escena recientemente y hacen un descubrimiento tras otro, aportando así un soplo de aire fresco que se necesitaba con desesperación.

¿De qué datos carecían pues todos aquellos científicos famosos de las décadas de los cincuenta y sesenta y anteriores para pronunciarse de manera

tan autoritaria sobre las deficiencias intelectuales de las mujeres? Sencillamente, la sociedad impedía que las mujeres entrasen en la ciencia y luego se las criticaba por ello confundiendo causa y efecto.

¿Quiere ser astrónoma, jovencita? Lo siento. ¿Por qué no puede serlo? Porque no está a la altura.

¿Cómo sabemos que no está a la altura? Porque las mujeres nunca han sido astrónomas.

El caso, expuesto de manera tan burda, parece absurdo. Pero la gestación de un prejuicio puede ser sutil. Se rechaza al grupo despreciado con argumentos espurios, planteados a veces con tal seguridad y menosprecio que muchos de nosotros, e incluso a veces las propias víctimas, no atinamos a reconocerlos como artimañas.

Los observadores eventuales de reuniones de escépticos, y los que han echado una ojeada a la lista de miembros del CSICOP, habrán constatado una gran preponderancia de hombres. Otros afirman que hay un número desproporcionado de mujeres entre los que creen en la astrología (hay horóscopos en la mayoría de las revistas de «mujeres», pero no en las de «hombres»), los cristales, la percepción extrasensorial y similares. Los hay que sugieren que el escepticismo tiene algo peculiarmente masculino. Exige trabajo duro, enfrentamientos, es competitivo, difícil... mientras, dicen, las mujeres tienen más tendencia a aceptar, a construir un consenso, y no les interesa desafiar la sabiduría convencional. Pero, según mi experiencia, las mujeres científicas tienen el sentido escéptico tan agudo como sus colegas varones; simplemente, forma parte del hecho de ser científico. Esta crítica, si es que lo es, se presenta al mundo con la confusión habitual: si no se alienta el escepticismo en las mujeres y no se las prepara para ello, es bastante normal que muchas de ellas no sean escépticas. Si se abren las puertas y se les permite la entrada, son tan escépticas como cualquiera.

Una de las profesiones estereotipadas es la ciencia. Los científicos son raros, socialmente ineptos, trabajan en temas incomprensibles que ninguna persona normal sería capaz de encontrar interesantes... aunque estuviera dispuesta a invertir el tiempo necesario, cosa que, desde luego, no haría nadie en su sano juicio. «Dedícate a vivir», les diría uno de buena gana.

Pedí un retrato contemporáneo de los bichos raros de carne y hueso de la ciencia a una experta en niños de once años que conozco. Debo señalar que ella se limita a transmitir, sin aceptarlos necesariamente, los prejuicios convencionales.

Llevan el cinturón justo por debajo de las axilas. Se ponen protectores de plástico en los bolsillos de la camisa para exhibir una formidable colección de bolígrafos y lápices. Llevan una calculadora programable en una funda especial del cinturón. Todos llevan gafas gruesas con el puente de la

nariz roto y pegado con esparadrapo. Carecen de habilidades sociales e ignoran o son indiferentes a esta carencia. Cuando ríen, les sale un ronquido. Farfullan entre ellos en un lenguaje incomprensible. Se aferran a la oportunidad de trabajar más para conseguir una nota más alta en todas las asignaturas, excepto en gimnasia. Miran a la gente normal por encima del hombro, y éstos a su vez se ríen de ellos. La mayoría tienen nombres como Norman. (En la conquista normanda, una horda de locos de esos con cinturón alto, bolsillo con protección, provistos de calculadora y con las gafas rotas participó en la invasión de Inglaterra.) Hay más chicos así que chicas, pero los hay de los dos géneros. No ligan nada. Si eres uno de ellos no puedes ser enrollado. Y viceversa.

Desde luego, eso es un estereotipo. Hay científicos que van vestidos con elegancia, que son de lo más enrollado, con los que muchas personas querrían salir, que no llevan una calculadora oculta en los actos sociales. Hay algunos que, si nos invitaran a su casa, nos sería imposible adivinar que son científicos.

Pero hay otros que se adaptan al estereotipo, más o menos. Son bastante ineptos socialmente. Puede haber, en proporción, muchos más inadaptados entre los científicos que entre los diseñadores de moda o los policías de tráfico. Quizá los científicos tiendan más a ello que los camareros, cirujanos o cocineros. -¿Por qué tiene que ser así? A lo mejor, las personas sin talento para congeniar con otras encuentran un refugio en ocupaciones impersonales, especialmente las matemáticas y las ciencias físicas. A lo mejor el estudio serio de temas difíciles requiere tanto tiempo y dedicación que impide aprender más que las mínimas sutilezas sociales. Quizá sea una combinación de ambos factores.

Igual que la imagen del científico loco con la que está estrechamente relacionado, el estereotipo del científico «bicho raro» es dominante en nuestra sociedad. ¿Qué tiene de malo hacer unos cuantos chistes de buena fe a expensas de los científicos? Si, por la razón que sea, a la gente no le gusta el estereotipo del científico, es menos probable que apoye la ciencia. ¿Por qué subvencionarlos para que realicen sus pequeños proyectos absurdos e incomprensibles? Bien, sabemos la respuesta a eso: se subvenciona la ciencia porque proporciona beneficios espectaculares a todos los niveles de la sociedad, como he argumentado en este libro. Así pues, los que encuentran desagradables a los «bichos raros» científicos, pero al mismo tiempo desean los productos de la ciencia, se enfrentan a una especie de dilema. Una solución tentadora es dirigir las actividades de los científicos. Que no se les dé dinero para que se vayan por las ramas; les diremos lo que necesitamos: tal invento o tal proceso. No subvencionemos la curiosidad de los científicos, sino algo que beneficie a la sociedad. Parece bastante sencillo.

El problema es que ordenar a alguien que vaya y haga un invento específico, aunque el coste no sea ningún problema, no garantiza que se consiga. Puede ser que se carezca de una base de conocimiento sin la que es imposible que alguien consiga la invención que se tiene en mente. Y la historia de la ciencia demuestra que muchas veces no se pueden encontrar los principios básicos por un camino dirigido. Pueden surgir de las meditaciones ociosas de un *joven* solitario perdido en el bosque. Los demás lo ignoran o rechazan, como también otros científicos, a veces hasta que aparece una nueva generación de ellos. Pedir con urgencia grandes inventos prácticos desalentando al mismo tiempo la investigación guiada por la curiosidad sería espectacularmente contraproducente.

---ooo---

Supongamos que, por la gracia de Dios, usted es Victoria, la reina del Reino Unido de Gran Bretaña e Irlanda, defensora de la fe en la era más próspera y triunfante del Imperio británico. Sus dominios se extienden por todo el planeta. El rojo británico jalona abundantemente los mapas del mundo. Usted preside el principal poder tecnológico del mundo. La máquina de vapor se perfecciona en Gran Bretaña, principalmente por parte de ingenieros escoceses, que proporcionan asesoría técnica en los ferrocarriles y barcos de vapor que unen el imperio.

Supongamos que en el año 1860 tiene una idea visionaria, tan atrevida que hasta el editor de Julio Verne la habría rechazado.

Quiere una máquina que lleve su voz y las imágenes de la gloria del imperio a todas las casas del reino. Más todavía: quiere que los sonidos e imágenes no lleguen por conductos o cables, sino por el aire... para que la gente que trabaje en el campo pueda recibir este don de inspiración instantánea creado para promover la lealtad y la ética del trabajo. La Palabra de Dios también se puede transmitir con el mismo invento. Sin duda, se encontrarán otras aplicaciones socialmente deseables.

Así, con el apoyo del primer ministro, convoca al gabinete, al Estado Mayor y a los principales científicos e ingenieros del reino. Les comunica que asignará un millón de libras al proyecto, mucho dinero en 1860. Si necesitan más, pueden pedirlo. No le importa cómo lo hagan; sólo que lo consigan. Ah, por cierto, se llamará Proyecto Westminster.

Probablemente surgirán algunos inventos útiles de una empresa así. Siempre ocurre cuando se gastan grandes cantidades de dinero en tecnología. Pero casi seguro que el Proyecto Westminster fracasará. ¿Por qué? Porque todavía no se ha creado la ciencia que lo fundamenta. En 1860 existía el telégrafo. Era imaginable, con un gasto enorme, instalar aparatos de telegrafía

en todas las casas para que todos pudieran enviar y recibir mensajes en código Morse. Pero eso no es lo que había pedido la reina. Ella pensaba en la radio y la televisión, pero eran inalcanzables.

En el mundo real, los conocimientos de física necesarios para inventar la radio y la televisión llegaron de una dirección que nadie podía haber predicho.

James Clerk Maxwell nació en Edimburgo, Escocia, en 1831. A los dos años descubrió que con un plato de aluminio podía hacer rebotar una imagen del sol en los muebles y que bailara por las paredes. Cuando sus padres entraron corriendo en la sala, él gritó: «¡Es el sol! ¡Lo he conseguido con el plato de aluminio!» De pequeño le fascinaban los microbios, los gusanos, las rocas, las flores, las lentes, las máquinas. «Era humillante —recordaba más tarde su tía Jane— la cantidad de preguntas que hacía aquel niño y que no podías contestar.»

Naturalmente, cuando llegó a la escuela, le llamaron «Dafty» *(daft,* en el inglés de Gran Bretaña, significa algo así como un poco chalado). Era un joven extremadamente guapo, pero iba vestido sin esmero, más cómodo que con estilo, y su provincianismo escocés en el habla y la conducta era causa constante de burla, especialmente cuando llegó a la universidad. Y tenía unos intereses peculiares.

Maxwell era un bicho raro.

Con sus profesores le fue un poco mejor que con sus compañeros. He aquí un mordaz pareado que escribió en aquella época:

> Los años se suceden y avanzan hacia el tiempo esperado En que el crimen de los mortificantes será juzgado.

Muchos años después, en 1872, en su conferencia inaugural como profesor de física experimental de la Universidad de Cambridge, aludió al estereotipo de científico «bicho raro»:

> No hace tanto tiempo que se consideraba necesariamente al hombre que se dedicaba a la geometría, o a cualquier ciencia que requiriese una dedicación continua, como un misántropo que ha tenido que abandonar todos los intereses humanos para entregarse a abstracciones tan alejadas del mundo de la vida y la acción que se ha vuelto insensible a las atracciones del placer y a las exigencias de la obligación.

Sospecho que «no hace tanto tiempo» era la manera de Maxwell de recordar las experiencias de su juventud. A continuación decía:

> En el día de hoy no se contempla a los científicos con el mismo temor respetuoso o la misma sospecha. Se considera que están de acuerdo con el

espíritu material de la época y que forman una especie de partido radical avanzado entre los hombres cultos.

Ya no vivimos en una época de optimismo sin límites sobre los beneficios de la ciencia y la tecnología. Entendemos que tiene su parte mala. Hoy las circunstancias son mucho más cercanas a lo que Maxwell recordaba de su infancia.

Maxwell hizo enormes contribuciones a la astronomía y la física, desde la demostración concluyeme de que los anillos de Saturno están compuestos de pequeñas partículas hasta las propiedades elásticas de los sólidos y disciplinas que ahora se llaman teoría cinética de los gases y mecánica estadística. Fue el primero en demostrar que una cantidad enorme de pequeñas moléculas que, moviéndose por su cuenta, colisionan incesantemente unas con otras y rebotan elásticamente, no lleva a la confusión sino a unas leyes estadísticas precisas. Se puede predecir y entender las propiedades de un gas así. (La curva en forma de campana que describe las velocidades de las moléculas en un gas se llama ahora distribución Maxwell-Bolzmann.) Inventó un ser mágico, llamado ahora el «genio de Maxwell», cuyas acciones generan una paradoja que para ser resuelta necesitó la teoría de la información moderna y la mecánica cuántica.

La naturaleza de la luz había sido un misterio desde la antigüedad. Se entablaron cáusticos debates cultos sobre si era una partícula o una onda. Las definiciones populares eran del estilo: «La luz es oscuridad... encendida.» La mayor contribución de Maxwell fue su descubrimiento de que la electricidad y el magnetismo, precisamente, se unen para convertirse en luz. La comprensión ahora convencional del espectro electromagnético —que consiste en longitudes de onda de rayos gama a rayos **X,** a luz ultravioleta, luz visible, luz infrarroja, ondas de radio— se debe a Maxwell. Como la radio, la televisión y el radar.

Pero Maxwell no buscaba nada de eso. Lo que le interesaba era cómo la electricidad crea magnetismo y viceversa. Quiero describir lo que hizo Maxwell, pero su consecución histórica es matemática de alto nivel. En unas páginas, sólo puedo ofrecer en el mejor de los casos una especie de pincelada. Ruego al lector que no entienda del todo lo que le voy a decir que me perdone. Es imposible captar el sentido de lo que hizo Maxwell sin saber un poco de matemáticas.

Mesmer, el inventor del «mesmerismo», creía haber descubierto que un fluido magnético, «casi igual que el fluido eléctrico», permeaba todas las cosas. También en esto estaba equivocado. Ahora sabemos que no hay un fluido magnético especial y que todo magnetismo —incluyendo el poder que reside en un imán de barra o herradura— se debe a la electricidad en movimiento. El físico danés Hans Christian Oersted había hecho un pequeño

experimento en el que hacía fluir la electricidad por un cable para inducir a la aguja de una brújula a oscilar y temblar. El cable y la brújula no estaban en contacto físico. El gran físico inglés Michael Faraday había realizado el experimento complementario: haciendo aparecer una fuerza magnética generó una corriente eléctrica en un cable cercano. La electricidad, al variar en el tiempo, se había extendido de algún modo y había generado magnetismo, y el magnetismo al variar en el tiempo se había extendido de algún modo generando electricidad. Eso se llamó «inducción» y era profundamente misterioso, cercano a la magia.

Faraday proponía que el imán tenía un «campo» de fuerza invisible que se extendía hacia el espacio circundante, más fuerte cuanto más cerca del imán y más débil cuanto más lejos. Se podía rastrear la forma del campo colocando pequeñas limaduras de hierro en un trozo de papel y poniendo un imán debajo. También el pelo, después de un buen cepillado un día de baja humedad, genera un campo eléctrico invisible que se extiende hacia el exterior e incluso puede hacer mover pequeños pedazos de papel.

La electricidad en un cable, ahora lo sabemos, está causada por partículas eléctricas submicroscópicas, llamadas electrones que responden a un campo eléctrico en movimiento. Los cables están hechos de materiales como el cobre que tienen muchos electrones libres (electrones no ligados en átomos, sino con capacidad de movimiento). Sin embargo, a diferencia del cobre, la mayoría de los materiales, por ejemplo la madera, no son buenos conductores; son aislantes o «dieléctricos». En ellos, en comparación, hay pocos electrones disponibles para moverse en respuesta al campo eléctrico o magnético aplicado. No se produce ninguna corriente. Desde luego hay algún movimiento o «desplazamiento» de electrones y, cuanto mayor sea el campo magnético, mayor es el desplazamiento.

Maxwell ideó una manera de escribir lo que se sabía sobre la electricidad y el magnetismo en su época, un método para resumir con precisión todos esos experimentos con cables, corrientes e imanes. Aquí tenemos las cuatro ecuaciones de Maxwell para describir la conducta de la electricidad y el magnetismo en un medio material:

$$\nabla \cdot \mathbf{E} = \rho/\varepsilon_0$$
$$\nabla \cdot \mathbf{B} = 0$$
$$\nabla \times \mathbf{E} = -\dot{\mathbf{B}}$$
$$\nabla \times \mathbf{B} = \mu_0 \mathrm{j} + \mu_0 \varepsilon_0 \dot{\mathrm{E}}$$

Se necesitan unos cuantos años de física de nivel universitario para entender realmente estas ecuaciones. Están escritas a partir de una rama de

las matemáticas llamada cálculo vectorial. Un vector, en la fórmula en letra negra, es cualquier cantidad con una magnitud y una dirección. Sesenta kilómetros por hora no es un vector, pero sesenta kilómetros por hora hacia el norte por la Autopista 1 sí lo es. E y B representan los campos eléctrico y magnético. El triángulo, llamado nabla (por su parecido con cierta lira antigua de Oriente Medio), expresa cómo varían los campos eléctrico y magnético en el espacio tridimensional. El «producto punto» y el «producto cruz» después de los nablas denotan dos tipos diferentes de variación espacial.

É y B representan la variación temporal, el ritmo de cambio de los campos eléctrico y magnético, j representa una corriente eléctrica. La minúscula griega p (rho) representa la densidad de las cargas eléctricas, mientras que ε_o (pronunciado «épsilon cero») y μ_o (pronunciado «mu cero») no son variables, sino propiedades de la sustancia en que se mide E y B, y determinadas por experimento. En el vacío, ε_o y μ_o son constantes de la naturaleza.

Considerando las muchas cantidades diferentes que se reúnen en estas ecuaciones, es sorprendente lo sencillas que son. Podían haber ocupado páginas, pero no es así.

La primera de las cuatro ecuaciones de Maxwell expresa cómo un campo eléctrico, debido a cargas eléctricas (por ejemplo, electrones), varía con la distancia (se debilita cuanto más se aleja). Pero, cuanto mayor es la densidad de carga (cuantos más electrones haya, por ejemplo, en un espacio determinado), más fuerte es el campo.

La segunda ecuación nos dice que no se puede hacer una afirmación comparable en magnetismo, porque las «cargas» magnéticas (o «monopolos» magnéticos) de Mesmer no existen: si se sierra un imán por la mitad, no habrá un polo «norte» aislado y un polo «sur» aislado; cada pieza tiene ahora sus polos «norte» y «sur».

La tercera ecuación nos dice cómo un campo magnético cambiante induce un campo eléctrico.

La cuarta describe lo contrario: cómo un campo eléctrico cambiante (o una corriente eléctrica) induce un campo magnético.

Las cuatro ecuaciones son esencialmente una destilación de generaciones de experimentos de laboratorio, principalmente de científicos franceses y británicos. Lo que he descrito aquí vaga y cualitativamente, las ecuaciones lo describen exacta y cuantitativamente.

Maxwell se hizo entonces una extraña pregunta: ¿cómo serían estas ecuaciones en el vacío, en un lugar donde no hubiera cargas eléctricas ni corrientes eléctricas? Podríamos esperar tal vez que en el vacío no hubiera

campos eléctricos ni magnéticos. En cambio, él sugirió que la forma correcta de las ecuaciones de Maxwell para el comportamiento de la electricidad y el: magnetismo el vacío es ésta

$$\nabla \cdot \mathbf{E} = 0$$
$$\nabla \cdot \mathbf{B} = 0$$
$$\nabla \times \mathbf{E} = -\dot{\mathbf{B}}$$
$$\nabla \times \mathbf{B} = \mu_0 \varepsilon_0 \dot{\mathrm{E}}$$

Fijó **p** igual a cero, indicando que no hay cargas eléctricas. También fijó **j** igual a cero, indicando que no hay corrientes eléctricas. Pero no descartó el último término en la cuarta ecuación, $\mu_o \varepsilon_o \dot{\mathbf{E}}$, la débil corriente de desplazamiento en aislantes.

¿Por qué no? Como se puede ver en las ecuaciones, la intuición de Maxwell mantuvo la simetría entre los campos magnético y eléctrico. Incluso en un vacío, con ausencia total de electricidad y hasta de materia, propuso que un campo magnético cambiante provoca un campo eléctrico y viceversa. Las ecuaciones iban a representar a la naturaleza, y Maxwell creía que la naturaleza era bella y elegante. (También había otra razón, más técnica, para conservar la corriente de desplazamiento en un vacío, que aquí pasamos por alto.) Esta valoración estética por parte de un físico «bicho raro», totalmente desconocido excepto para otros científicos académicos, ha contribuido más a formar nuestra civilización que diez presidentes y primeros ministros juntos.

Brevemente, las cuatro ecuaciones de Maxwell para el vacío dicen: 1) no hay cargas eléctricas en el vacío; 2) no hay monopolos magnéticos en el vacío; 3) un campo magnético cambiante genera un campo eléctrico, y 4) viceversa.

En cuanto hubo escrito así las ecuaciones, Maxwell pudo demostrar fácilmente que E y B se propagaban por el espacio vacío como si fueran *ondas.* Lo que es más, podía calcular la velocidad de la onda. Era sólo 1 dividido por la raíz cuadrada de ε_o y μ_o. Pero ε_o y μ_o habían sido medidos en el laboratorio. Cuando se colocaban los números, se encontraba que los campos eléctricos y magnéticos en el vacío debían propagarse, asombrosamente, a la misma velocidad que se había medido antes para la luz. El acuerdo era demasiado exacto para ser accidental. De pronto, de manera desconcertante, la electricidad y el magnetismo estaban profundamente implicados en la naturaleza de la luz.

Dado que la luz ahora parecía comportarse como ondas y derivar de campos eléctricos y magnéticos, Maxwell la llamó electromagnética. Esos oscuros experimentos con baterías y cables tenían algo que ver con el brillo

del sol, con la forma en que vemos, con la naturaleza de la luz. Albert Einstein, meditando años después sobre el descubrimiento de Maxwell, escribió: «A pocos hombres en el mundo les ha sido concedida una experiencia así.»

El propio Maxwell se quedó perplejo ante los resultados. El vacío parecía actuar como un dieléctrico. Dijo que puede ser «polarizado eléctricamente». Maxwell, que vivía en una sociedad mecanicista, se sintió obligado a ofrecer algún tipo de modelo mecánico para la propagación de una onda electromagnética a través de un vacío perfecto. Así, se imaginó el espacio lleno de una sustancia misteriosa que llamó éter, que sostenía y contenía los campos eléctricos y magnéticos variables en el tiempo... algo así como una gelatina palpitante pero invisible que impregnara el universo. Las vibraciones del éter eran la razón por la que la luz viajaba a través de él, igual que las ondas de agua se propagan por el agua y las ondas de sonido por el aire.

Pero este éter tenía que ser un material muy raro, muy sutil, fantasmagórico, casi incorpóreo. El Sol y la Luna, los planetas y las estrellas tenían que pasar a través de él sin disminuir su velocidad, sin notarlo. Y, sin embargo, tenía que tener la suficiente rigidez para sostener todas estas ondas propagándose a una velocidad prodigiosa.

Se sigue usando la palabra «éter» sin relación con esto, principalmente en el adjetivo etéreo, residente en el éter. Tiene algunas connotaciones parecidas al más moderno «espacioso» o «flotante». Cuando, en los primeros tiempos de la radio, decían: «en el aire», lo que tenían en mente era el éter. (La frase rusa es casi literalmente «en el éter», *vefir.)* Pero, desde luego, la radio viaja fácilmente a través del vacío, uno de los principales descubrimientos de Maxwell. No necesita aire para propagarse. La presencia de aire, si acaso, es un impedimento.

Toda la idea de luz y materia moviéndose por el éter iba a llevar cuarenta años después a la teoría especial de la relatividad de Einstein, $E=mc^2$, y mucho más. La relatividad y los experimentos que llevaron a ella demostraron de manera concluyente que no hay un éter que sostenga la propagación de ondas electromagnéticas, como escribe Einstein en el extracto del famoso trabajo que he reproducido en el capítulo 2. La onda avanza por sí sola. El campo eléctrico cambiante genera un campo magnético; el campo magnético cambiante genera un campo eléctrico. Se sostienen ambos... con sus tirantes.

Muchos físicos quedaron profundamente turbados por la desaparición del éter «luminífero». Habían necesitado algún modelo mecánico para que toda la idea de la propagación de luz en el vacío fuera razonable, plausible, comprensible. Pero era una muleta, un síntoma de nuestras dificultades para

reconocer reinos en los que el sentido común no sirve. El físico Richard Feynman lo describió de este modo:

> Hoy entendemos mejor que lo que cuenta son las ecuaciones en sí y no el modelo usado para conseguirlas. Sólo podemos cuestionar si las ecuaciones son verdaderas o falsas. Se contesta a eso haciendo experimentos, y un número incontable de experimentos han confirmado las ecuaciones de Maxwell. Si retiramos el andamio que utilizó para construirlo, nos encontramos con que el bello edificio de Maxwell se mantiene por sí solo.

¿Pero qué *son* esos campos eléctricos y magnéticos variables en el tiempo que impregnan todo el espacio? ¿Qué *significan* **É** y´**B**? Nos sentimos mucho más cómodos con la idea de cosas que se tocan y se mueven, se estiran o se empujan, que con «campos» que mueven mágicamente objetos a distancia o meras abstracciones matemáticas. Pero, como señaló Feynman, nuestra sensación de que al menos en la vida cotidiana podemos confiar en el contacto físico sólido y sensible —para explicar, por ejemplo, por qué el cuchillo de la mantequilla se acerca a uno cuando lo coge— es un concepto erróneo. ¿Qué quiere decir tener contacto físico? ¿Qué ocurre exactamente cuando uno toma un cuchillo, o empuja un columpio, o hace una onda en el agua golpeando periódicamente sobre ella? Cuando investigamos en profundidad, encontramos que no hay contacto físico. En cambio, las cargas eléctricas de la mano están influyendo en las cargas eléctricas del cuchillo, columpio o agua, y viceversa. A pesar de la experiencia y el sentido común cotidiano, incluso aquí, sólo existe la interacción de campos eléctricos. Nada toca nada.

Ningún físico se mostró impaciente con las nociones del sentido común y ansioso por reemplazarlas por alguna abstracción matemática que pudiera ser entendida sólo por extraños físicos teóricos. Empezaron, como hacemos todos, con ideas cómodas y estándar de sentido común. El problema es que la naturaleza no obedece. Si dejamos de insistir en nuestras ideas de *cómo debería* comportarse la naturaleza, y nos ponemos ante ella con una mente abierta y receptiva, encontramos que a menudo el sentido común no funciona. ¿Por qué no? Porque nuestras ideas, tanto hereditarias como aprendidas, de cómo funciona la naturaleza fueron forjadas en los millones de años que nuestros antepasados eran cazadores y recolectores. En este caso, el sentido común es una guía inexacta porque la vida de los cazadores-recolectores no dependía de entender los campos eléctricos y magnéticos de tiempo variable. No había castigos evolutivos por ignorar las ecuaciones de Maxwell. En nuestra época es diferente.

Las ecuaciones de Maxwell muestran que un campo eléctrico rápidamente variable (que haga más grande **É**) debería generar ondas

electromagnéticas. En 1888, el físico alemán Heinrich Hertz realizó el experimento y encontró que había generado una nueva especie de radiación, ondas de radio. Siete años después, científicos británicos en Cambridge transmitieron señales de radio a una distancia de un kilómetro. En 1901, Guglielmo Marconi, de Italia, utilizaba ondas de radio para comunicarse con el otro lado del océano Atlántico.

La conexión económica, cultural y política del mundo moderno mediante torres emisoras, enlaces de microondas y satélites de comunicación se remonta a la idea de Maxwell de incluir la corriente de desplazamiento en sus ecuaciones de vacío. Eso hace la televisión, que nos instruye y entretiene de manera imperfecta; el radar, que quizá pueda haber sido el elemento decisivo en la batalla de Gran Bretaña y en la derrota nazi en la segunda guerra mundial (me gusta pensar que fue gracias a «Dafty», el bicho raro que se adelantó al futuro y salvó a sus descendientes de sus atormentadores); el control y navegación de aviones, barcos y naves espaciales; la radioastronomía y la búsqueda de inteligencia extraterrestre y aspectos significativos de la energía eléctrica y las industrias de microelectrónica.

Lo que es más, la idea de campos de Faraday y Maxwell ha tenido gran influencia en la comprensión del núcleo atómico, la mecánica cuántica y la estructura fina de la materia. Su unificación de electricidad, magnetismo y luz en un todo matemático coherente es la fuente de inspiración de posteriores intentos —algunos con éxito, otros todavía en estado rudimentario— de unificar todos los aspectos del mundo físico, incluyendo la gravedad y las fuerzas nucleares, en una gran teoría. Puede decirse razonablemente que Maxwell abrió la puerta de la física moderna.

Richard Feynman describe nuestra visión actual del mundo silencioso de los vectores eléctricos y magnéticos variables con estas palabras:

> Intentemos imaginar cómo son los campos eléctrico y magnético ahora en el espacio de esta sala de conferencias. En primer lugar hay un campo magnético constante; procede de las corrientes del interior de la tierra, es decir, el campo magnético constante de la tierra. Luego hay algunos campos eléctricos irregulares, casi estáticos, producidos quizá por cargas eléctricas generadas por fricción cuando varias personas se mueven en sus sillas y frotan las mangas de su chaqueta con los brazos de la silla. Luego hay otros campos magnéticos producidos por corrientes oscilatorias en el cableado eléctrico... campos que varían a una frecuencia de sesenta ciclos por segundo, en sincronización con el generador de Boulder Dam. Pero son más interesantes los campos eléctrico y magnético variables con frecuencias mucho más altas. Por ejemplo, cuando la luz viaja desde la ventana hasta el suelo y las paredes, hay pequeñas sacudidas de los campos eléctrico y magnético que se mueven a trescientos mil kilómetros por segundo. Luego están también las ondas infrarrojas que viajan de las fuentes calientes a la fría pizarra. Y hemos olvidado la luz ultravioleta, los rayos X y las ondas de radio que viajan a través de la habitación.

A través de la sala vuelan ondas electromagnéticas que transportan música de una banda de jazz. Hay ondas moduladas por una serie de impulsos que representan imágenes de acontecimientos que ocurren en otras partes del mundo o de aspirinas imaginarias que se disuelven en estómagos imaginarios. Para demostrar la realidad de esas ondas, sólo es necesario encender un equipo electrónico que convierta esas ondas en imágenes y sonidos.

Si nos adentramos en más detalle para analizar incluso el menor movimiento, hay pequeñas ondas electromagnéticas que han entrado a la sala desde distancias enormes. Ahora hay pequeñas oscilaciones del campo eléctrico, cuyas crestas están separadas por una distancia de medio metro, que han venido de millones de kilómetros de distancia, transmitidas a la Tierra desde la nave espacial *Mariner* [2] que acaba de pasar por Venus. Sus señales llevan resúmenes de información que ha recogido sobre los planetas (obtenida a partir de ondas electromagnéticas que viajan del planeta a la nave espacial).

Hay movimientos muy pequeños de los campos eléctrico y magnético que son ondas que se originaron a miles de millones de años luz... desde las galaxias en los rincones más remotos del universo. Que esto es cierto se ha descubierto «llenando la sala de cables»... construyendo antenas tan grandes como esta sala. Esas ondas de radio han sido detectadas llegando desde lugares del espacio que están fuera del alcance de los mayores telescopios ópticos. Incluso los telescopios ópticos son simples recolectores de ondas electromagnéticas. Lo que llamamos las estrellas son sólo deducciones, deducciones derivadas de la única realidad física que hemos recibido de ellas hasta ahora, a partir de un meticuloso estudio de las ondulaciones interminablemente complejas de los campos eléctrico y magnético que nos llegan a la Tierra.

Desde luego, hay más: los campos producidos por rayos a kilómetros de distancia, los campos de las partículas cargadas dé rayos cósmicos cuando atraviesan la sala, y más, y más. ¡Qué complicado es eso del campo eléctrico en el espacio que nos rodea!

Si la reina Victoria hubiera convocado una reunión urgente de sus asesores y les hubiera ordenado que inventaran el equivalente de la radio y la televisión, es poco probable que alguno de ellos hubiera imaginado que el camino pasaba por los experimentos de Ampère, Biot, Oersted y Faraday, cuatro ecuaciones de cálculo vectorial y la idea de conservar la corriente de desplazamiento en el vacío. Creo que no hubieran llegado a ninguna parte. Mientras tanto, por su cuenta, guiado sólo por la curiosidad, sin prácticamente ningún coste para el gobierno, inconsciente de que estaba preparando el terreno para el Proyecto Westminster, «Dafty» iba llenando páginas. Es dudoso que se hubiera pensado en el modesto e insociable señor Maxwell para efectuar un estudio de este tipo. De ser así, probablemente el

gobierno le habría dicho en qué tenía que pensar y en qué no, impidiendo más que induciendo su gran descubrimiento.

Más tarde, Maxwell fue recibido por la reina Victoria. La audiencia le causó muchos trastornos con anterioridad —sobre todo la desconfianza en su capacidad de comunicar ciencia a alguien no experto— pero la reina se distrajo en seguida y la entrevista fue corta. Como los otros cuatro grandes científicos británicos de la historia reciente, Michael Faraday, Charles Darwin, P. A. M. Dirac y Francis Crick, Maxwell nunca recibió el título de caballero (aunque sí lo recibieron Lyell, Kelvin, J. J. Thomson, Rutherford, Eddington y Hoyle, en el escalafón siguiente). En el caso de Maxwell, ni siquiera existía la excusa de que pudiera tener opiniones poco acordes con la Iglesia de Inglaterra: era un cristiano absolutamente convencional para su época, más devoto que la mayoría. Quizá fuera su aire de bicho raro.

Los medios de comunicación —los instrumentos de educación y entretenimiento que hizo posibles James Clerk Maxwell— no han ofrecido nunca, que yo sepa, ni siquiera una miniserie sobre la vida y pensamiento de su benefactor y fundador. En contraste, pensemos en lo difícil que es crecer en Estados Unidos sin que la televisión le hable a uno, por ejemplo, de la vida y época de Davy Crockett, Billy the Kid o Al Capone.

Maxwell se casó joven, pero por lo visto su matrimonio careció tanto de pasión como de hijos. Reservaba toda su emoción para la ciencia. Este fundador de la edad moderna murió en 1879 a los cuarenta y siete años. Aunque la cultura popular casi le haya olvidado, los astrónomos de radar que hacen mapas de otros mundos le recuerdan: la mayor cadena montañosa de Venus, descubierta enviando ondas de radio desde la Tierra que rebotaban en Venus y detectaban sus ecos apagados, lleva su nombre.

---ooo---

Menos de un siglo después de la predicción de las ondas de radio de Maxwell, se inició la primera búsqueda de señales de posibles civilizaciones en los planetas de otras estrellas. Desde entonces ha habido una serie de búsquedas, a algunas de las cuales me he referido antes, de los campos eléctrico y magnético variables en el tiempo que cruzan las amplias distancias interestelares desde otras posibles inteligencias —muy diferentes biológicamente de nosotros— que también se habrían beneficiado en algún momento de su historia de las percepciones de equivalentes locales de James Clerk Maxwell.

En octubre de 1992 —en el desierto de Mojave, y en un valle cárstico de Puerto Rico— iniciamos la búsqueda más prometedora, poderosa y

extensa de inteligencia extraterrestre (SETI) que se pueda imaginar. Por primera vez, la NASA organizaba y ponía en práctica el programa. Se examinaría todo el cielo durante un período de diez años con un alcance de sensibilidad y frecuencia sin precedentes. Si, desde un planeta de cualquiera de los cuatrocientos mil millones de otras estrellas que forman la galaxia de la Vía Láctea, alguien nos hubiera mandado un mensaje por radio, habríamos tenido una posibilidad bastante razonable de oírlo.

Justo un año después, el Congreso cortó el suministro. El SETI no era de importancia apremiante; su interés era limitado; era demasiado caro. Pero toda civilización en la historia humana ha dedicado algunos recursos a investigar cuestiones profundas sobre el universo y es difícil pensar en otra más profunda que saber si estamos solos. Aunque no pudiéramos descifrar los contenidos del mensaje, la recepción de una señal así transformaría nuestra visión del universo y de nosotros mismos. Y, si pudiéramos entender el mensaje de una civilización técnicamente avanzada, los beneficios prácticos podrían ser sin precedentes. Lejos de tener una base estrecha, el programa SETI, vigorosamente apoyado por la comunidad científica, está también arraigado en la cultura popular. La fascinación de esta empresa es amplia y duradera, y por muy buena razón. Y, lejos de ser demasiado caro, el programa habría costado algo así como un helicóptero de combate al año.

Me pregunto por qué los miembros del Congreso a quienes preocupan tanto los costes no dedican mayor atención al Departamento de Defensa —que, con la Unión Soviética desintegrada y la guerra fría terminada, todavía gasta, con el total de costes registrados, bastante más de trescientos mil millones de dólares al año—. (Y en todas las demás instancias de gobierno hay muchos programas que se dedican al bienestar de los potentados.) Quizá nuestros descendientes, cuando miren atrás hacia nuestra época, se quedarán maravillados de que, estando en posesión de la tecnología para detectar a otros seres, cerrásemos los oídos e insistiésemos en gastar nuestra riqueza nacional para protegernos de un enemigo que ya no existe.[40]

David Goodstein, un físico de Cal Tech, apunta que el crecimiento de la ciencia durante siglos ha sido tan exponencial que no puede seguir creciendo así... porque todo el mundo en el planeta tendría que ser científico y *entonces* el crecimiento debería detenerse. Especula que es por esta razón, y no por un desafecto fundamental por la ciencia, que se ha reducido sensiblemente el crecimiento en la financiación de la ciencia en las últimas décadas.

Sin embargo me preocupa cómo se *distribuyen* los fondos de investigación. Me preocupa que cancelar los fondos del gobierno para SETI

[40] El programa SETI fue brevemente resucitado en 1995 con contribuciones privadas y el apropiado nombre de Proyecto Fénix.

forme parte de una tendencia. El gobierno ha presionado a la Fundación Nacional de la Ciencia para que se alejara de la investigación científica básica y apoyara la tecnología, la ingeniería y las aplicaciones. El Congreso está sugiriendo acabar con el Estudio Geológico de Estados Unidos y reducir su apoyo al estudio del frágil medio ambiente de la Tierra. El apoyo de la NASA para investigación y análisis de datos ya obtenidos se va limitando cada vez más. A muchos científicos jóvenes no sólo les es imposible conseguir becas para llevar a cabo su investigación sino que además no encuentran trabajo.

La financiación de la investigación y el desarrollo industrial por parte de las compañías americanas se ha reducido en años recientes. La financiación de investigación y desarrollo del gobierno se ha reducido en el mismo período. (Sólo aumentó la investigación y el desarrollo militar en la década de los ochenta.) En gastos anuales, Japón es ahora el principal inversor en investigación y desarrollo civil. En campos como informática, equipo de telecomunicaciones, sector aeroespacial, robótica y equipo científico de precisión la participación de Estados Unidos en las exportaciones globales ha descendido, mientras ha aumentado la de los japoneses. En este mismo período. Estados Unidos perdió la supremacía ante Japón en la mayoría de tecnologías de semiconductores y experimentó un grave declive en la participación de mercado de la televisión en color, vídeos, fonógrafos, aparatos de teléfono y máquinas herramientas.

En la investigación básica, los científicos son libres de colmar su curiosidad e interrogar a la naturaleza no con un fin práctico a corto plazo, sino en busca del conocimiento por sí mismo. Desde luego, los científicos tienen un interés personal en la investigación básica. Es lo que les gusta, en muchos casos la razón por la que se hacen científicos. Pero esta investigación es en interés de la sociedad. Así suelen hacerse los principales descubrimientos que benefician a la humanidad. Vale la pena preguntarse si unos cuantos proyectos científicos grandes y ambiciosos son mejor inversión que un número mayor de programas pequeños.

Raramente somos lo bastante listos para hacer a propósito los descubrimientos que dirigirán nuestra economía y salvaguardarán nuestras vidas. A menudo nos falta la investigación básica. En cambio, nos dedicamos a una amplia serie de investigaciones de la naturaleza y surgen aplicaciones en las que nunca soñamos. No siempre, desde luego. Pero con bastante frecuencia.

Dar dinero a alguien como Maxwell podría haber parecido la más absurda promoción de la ciencia «guiada por la mera curiosidad» y una imprudencia para los legisladores prácticos. ¿Por qué conceder dinero ahora para que científicos que hablan una jerga incomprensible se dediquen a sus

hobbies, cuando todavía no se han abordado necesidades nacionales apremiantes? Desde este punto de vista, es fácil entender la opinión de que la ciencia no es más que otro grupo de presión ansioso por preservar la entrada de dinero a fin de que los científicos no tengan que trabajar todo el día o estar en nómina.

Maxwell no pensaba en la radio, el radar y la televisión cuando garabateó por primera vez las ecuaciones fundamentales del electromagnetismo; Newton no soñaba con el vuelo espacial o los satélites de comunicación cuando entendió por primera vez el movimiento de la Luna; Roentgen no pensaba en el diagnóstico médico cuando investigó una radiación penetrante tan misteriosa que la llamó «rayos X»; Curie no pensaba en la terapia para el cáncer cuando extrajo laboriosamente cantidades mínimas de radio de toneladas de pechblenda; Fleming no planeaba salvar la vida de millones de personas con los antibióticos cuando observó un círculo libre de bacterias alrededor de un brote de moho; Watson y Crick no imaginaban la curación de enfermedades genéticas cuando se devanaban los sesos sobre la difractometría de rayos X del ADN; Rowland y Molina no planeaban implicar los CFC en la reducción del ozono cuando empezaron a estudiar el papel de los halógenos en la fotoquímica estratosférica.

De vez en cuando, miembros del Congreso y otros líderes políticos no se han podido resistir a bromear sobre alguna proposición científica aparentemente oscura para la que se pide financiación al gobierno. Hasta un senador tan brillante como William Proxmire, licenciado en Harvard, tenía tendencia a conceder el premio del «vellocino de oro» a proyectos científicos ostensiblemente inútiles, incluyendo el SETI. Me imagino el mismo espíritu en gobiernos previos: un tal señor Fleming desea estudiar los gusanos en el queso oloroso; una mujer polaca desea tamizar toneladas de mineral del centro de África para encontrar cantidades mínimas de una sustancia que, según dice, resplandecerá en la oscuridad; un tal señor Kepler quiere escuchar las canciones que cantan los planetas.

Esos descubrimientos y muchos más, que caracterizan y honran a nuestra época y a algunos de los cuales debemos la vida, fueron hechos por científicos que tuvieron la oportunidad de explorar lo que en su opinión, bajo el escrutinio de sus colegas, eran cuestiones básicas de la naturaleza. Las aplicaciones industriales, en las que el Japón de las últimas dos décadas ha destacado, son excelentes. Pero ¿aplicaciones de qué? La investigación fundamental, la investigación del corazón de la naturaleza, es el medio a través del que adquirimos el nuevo conocimiento que se aplica.

Los científicos tienen la obligación, especialmente cuando piden dinero, de explicar lo que pretenden con la mayor claridad y honestidad. El Supercolisionador Superconductor (SSC) habría sido el instrumento

preeminente en el planeta para explorar la estructura fina de la materia y la naturaleza del universo. Su precio era de diez mil a quince mil millones de dólares. Fue cancelado por el Congreso en 1993 después de haber gastado unos dos mil millones... el peor resultado posible. Pero yo creo que la base principal de *este* debate no era el declive del interés en el apoyo a la ciencia. Pocos miembros del Congreso entendieron para qué servían los aceleradores modernos de alta energía. No sirven como armas. No tienen aplicaciones prácticas. Son para algo que, preocupantemente desde el punto de vista de muchos, se llama «la teoría de todas las cosas». Las explicaciones que implican entidades llamadas quarks, encanto, olor, color, etc., dan la impresión de que los físicos son muy simpáticos y tiernos. Todo en general tiene un aura, al menos desde el punto de vista de algunos miembros del Congreso con los que he hablado, de «bichos raros enloquecidos»... lo que me parece una manera muy poco caritativa de describir la ciencia basada en la curiosidad. Ninguno de los que pagaban tenía la más remota idea de qué es un bosón de Higgs. He leído parte del material que pretendía justificar el SSC. Al final de todo, había una parte que no era tan mala, pero no había nada que explicara de qué iba el proyecto a un nivel accesible para personas brillantes pero escépticas que no fueran físicos. Si los físicos piden diez mil o quince mil millones de dólares para construir una máquina que no tiene valor práctico, al menos deberían hacer un esfuerzo extremadamente serio, con gráficas asombrosas, metáforas y un buen uso del idioma, para justificar su propuesta. Creo que la clave del fracaso del SSC es algo más que la mala gestión financiera, la limitación de presupuesto y la incompetencia política.

Hay un punto de vista creciente de libre mercado del conocimiento humano según el que la investigación básica debería competir sin apoyo del gobierno con todas las demás instituciones y demandantes de la sociedad. De no haber podido confiar en el apoyo del gobierno, si hubieran tenido que competir en la economía de mercado libre de su época, es muy poco probable que alguno de los científicos de mi lista hubiera podido hacer su investigación básica fundamental. Y el coste de la investigación básica, tanto teórica como especialmente experimental, es sustancialmente mayor de lo que era en la época de Maxwell.

Pero, dejando esto a un lado, ¿sería adecuado que las fuerzas del mercado libre apoyaran la investigación básica? Actualmente sólo se financia un diez por ciento de las propuestas dignas de investigación en medicina. Se gasta más dinero en curanderos que en toda la investigación médica. ¿Qué pasaría si el gobierno optara por abandonar la investigación médica?

Un aspecto necesario de la investigación básica es que sus aplicaciones radiquen en el futuro: a veces décadas o incluso siglos después. Lo que es más, nadie sabe qué aspectos de la investigación básica tendrán valor práctico

y cuáles no. Si los científicos no pueden hacer esas predicciones, ¿van a hacerlas los políticos o los industriales? Si las fuerzas del mercado libre están centradas sólo en el beneficio a corto plazo —como lo están ciertamente en Estados Unidos con un declive abrupto en investigación corporativa—, ¿no equivale esta solución a abandonar la investigación básica?

Cortar de cuajo la ciencia fundamental que tiene como guía la curiosidad es como comerse la semilla del maíz. Quizá nos quede un poco para comer el próximo invierno, pero ¿qué plantaremos para alimentarnos nosotros y nuestros hijos los inviernos siguientes?

Desde luego hay muchos problemas acuciantes para nuestra nación y para nuestra especie. Pero reducir la investigación científica básica no es la manera de resolverlos. Los científicos no constituyen un bloque de votantes. No tienen un grupo de presión efectivo. Sin embargo, gran parte de su trabajo es en interés de todos. Alejarse de la investigación fundamental constituye una falta de fuerza, de imaginación y de esa visión de futuro que todavía no parecemos dominar. A uno de esos extraterrestres hipotéticos podría parecerle asombroso que estuviéramos planeando no tener un futuro.

Desde luego, necesitamos alfabetización, educación, trabajo, atención médica adecuada y defensa, protección del medio ambiente, seguridad en la vejez, un presupuesto equilibrado y un montón de cosas más. Pero somos una sociedad rica. ¿No podemos alimentar a los Maxwell de nuestra época? Para poner un ejemplo simbólico, ¿es verdad que no nos podemos permitir comprar maíz para sembrar, por el valor de un helicóptero de combate, para escuchar a las estrellas?