CAPÍTULO 19

NO HAY PREGUNTAS ESTÚPIDAS

Y no dejamos de preguntarnos,
una y otra vez,
Hasta que un puñado de tierra
Nos calla la boca...
Pero ¿es eso una respuesta?

HEINRICH HEINE
«Lazarus»
(1854)

En el este de África, en los registros de las rocas que datan de hace dos millones de años, se pueden encontrar una serie de herramientas talladas, diseñadas y ejecutadas por nuestros antepasados. Su vida dependía de la fabricación y el uso de esas herramientas. Era, desde luego, tecnología de la primera Edad de Piedra. Con el tiempo se utilizaron piedras de formas especiales para partir, astillar, desconchar, cortar y esculpir. Aunque hay muchas maneras de hacer herramientas de piedra, lo que es notable es que en un lugar determinado durante largos períodos de tiempo las herramientas se hicieron de la misma manera, lo que significa que cientos de miles de años atrás debía de haber instituciones educativas, aunque se tratara principalmente de un sistema de aprendizaje. Aunque es fácil exagerar las similitudes, también lo es imaginarse al equivalente de profesores y estudiantes en taparrabos, las clases de laboratorio, los exámenes, los suspensos, las ceremonias de graduación y la enseñanza postgrado.

Cuando no cambia la preparación durante inmensos períodos de tiempo, las tradiciones pasan intactas a la generación siguiente. Pero cuando lo que se debe aprender cambia de prisa, especialmente en el curso de una sola generación, se hace mucho más difícil saber qué enseñar y cómo enseñarlo. Entonces, los estudiantes se quejan sobre la pertinencia de lo que se les explica; disminuye el respeto por sus mayores. Los profesores se desesperan ante el «deterioro de los niveles educativos y lo caprichosos que se han vuelto los estudiantes. En un mundo en transición, estudiantes y profesores necesitan enseñarse a sí mismos una habilidad esencial:
aprender a aprender.

---ooo---

Excepto para los niños (que no saben lo suficiente como para dejar de hacer las preguntas importantes), pocos de nosotros dedicamos mucho tiempo a preguntarnos por qué la naturaleza es como es; de dónde viene el cosmos, o si siempre ha estado allí; si un día el tiempo irá hacia atrás y los efectos precederán a las causas; o si hay límites definitivos a lo que deben saber los humanos. Incluso hay niños, y he conocido algunos, que quieren saber cómo es un agujero negro, cuál es el pedazo más pequeño de materia, por qué recordamos el pasado y no el futuro, y por qué existe un universo.

De vez en cuando tengo la suerte de enseñar en una escuela infantil o elemental. Encuentro muchos niños que son científicos natos, aunque con el asombro muy acusado y el escepticismo muy suave. Son curiosos, tienen vigor intelectual. Se les ocurren preguntas provocadoras y perspicaces. Muestran un entusiasmo enorme. Me hacen preguntas sobre detalles. No han oído hablar nunca de la idea de una «pregunta estúpida».

Pero cuando hablo con estudiantes de instituto encuentro algo diferente. Memorizan «hechos» pero, en general, han perdido el placer del descubrimiento, de la vida que se oculta tras los hechos. Han perdido gran parte del asombro y adquirido muy poco escepticismo. Los preocupa hacer preguntas «estúpidas»; están dispuestos a aceptar respuestas inadecuadas; no plantean cuestiones de detalle; el aula se llena de miradas de reojo para valorar, segundo a segundo, la aprobación de sus compañeros. Vienen a clase con las preguntas escritas en un trozo de papel, que examinan subrepticiamente en espera de su turno y sin tener en cuenta la discusión que puedan haber planteado sus compañeros en aquel momento.

Ha ocurrido algo entre el primer curso y los cursos superiores, y no es sólo la adolescencia. Yo diría que es en parte la presión de los compañeros contra el que destaca (excepto en deportes); en parte que la sociedad predica la gratificación a corto plazo; en parte la impresión de que la ciencia o las matemáticas no le ayudan a uno a comprarse un coche deportivo; en parte que se espera poco de los estudiantes, y en parte que hay pocas recompensas o modelos para una discusión inteligente sobre ciencia y tecnología... o incluso para aprender porque sí. Los pocos que todavía muestran interés reciben el insulto de «bichos raros», «repelentes» o «empollones».

Pero hay algo más: he visto a muchos adultos que se enfadan cuando un niño les plantea preguntas científicas. ¿Por qué la luna es redonda?, preguntan los niños. ¿Por qué la hierba es verde? ¿Qué es un sueño? ¿Hasta qué profundidad se puede cavar un agujero? ¿Cuándo es el cumpleaños del mundo? ¿Por qué tenemos dedos en los pies? Demasiados padres y maestros contestan con irritación o ridiculización, o pasan rápidamente a otra cosa: «¿Cómo querías que fuera la luna, cuadrada?» Los niños reconocen en seguida que, por alguna razón, este tipo de preguntas enoja a los adultos. Unas cuantas experiencias más como ésta, y otro niño perdido para la ciencia. No entiendo por qué los adultos simulan saberlo todo ante un niño de seis años. ¿Qué tiene de malo admitir que no sabemos algo? ¿Es tan frágil nuestro orgullo?

Lo que es más, muchas de estas preguntas afectan a aspectos profundos de la ciencia, algunos todavía no resueltos del todo. Por qué la luna es redonda tiene que ver con el hecho de que la gravedad es una fuerza que tira hacia el centro de cualquier mundo y con lo resistentes que son las rocas. La hierba es verde a causa del pigmento de clorofila, desde luego —a todos nos han metido esto en la cabeza—, pero ¿por qué tienen clorofila las plantas? Parece una tontería, pues el sol produce su máxima energía en la parte amarilla y verde del espectro. ¿Por qué las plantas de todo el mundo rechazan la luz del sol en sus longitudes de onda más abundantes? Quizá sea

la plasmación de un accidente de la antigua historia de la vida en la Tierra. Pero hay algo que todavía no entendemos sobre por qué la hierba es verde.

Hay mejores respuestas que decirle al niño que hacer preguntas profundas es una especie de pifia social. Si tenemos una idea de la respuesta, podemos intentar explicarla. Aunque el intento sea incompleto, sirve como reafirmación e infunde ánimo. Si no tenemos ni idea de la respuesta, podemos ir a la enciclopedia. Si no tenemos enciclopedia, podemos llevar al niño a la biblioteca. O podríamos decir: «No sé la respuesta. Quizá no la sepa nadie. A lo mejor, cuando seas mayor, lo descubrirás tú.»

Hay preguntas ingenuas, preguntas tediosas, preguntas mal formuladas, preguntas planteadas con una inadecuada autocrítica. Pero toda pregunta es un clamor por entender el mundo.[35] No hay preguntas estúpidas.

Los niños listos que tienen curiosidad son un recurso nacional y mundial. Se los debe cuidar, mimar y animar. Pero no basta con el mero ánimo. También se les debe dar las herramientas esenciales para pensar.

-----ooooo-----

«Es oficial», dice el titular de un periódico: «Estamos fatal en ciencia.» En pruebas a jóvenes de diecisiete años de muchas regiones del mundo. Estados Unidos quedó el último en álgebra. Mientras la media de los jóvenes estadounidenses era del cuarenta y tres por ciento, la de sus equivalentes japoneses, en pruebas idénticas, era del setenta y ocho por ciento. En mi opinión, el setenta y ocho por ciento es bastante bueno; el cuarenta y tres por ciento es suspenso. En una prueba de química, sólo los estudiantes de trece naciones fueron peores que los de Estados Unidos. La puntuación de Gran Bretaña, Singapur y Hong Kong era tan alta que casi se salían de la tabla, y el veinticinco por ciento de los canadienses de dieciocho años sabía tanta química como un selecto uno por ciento de los estudiantes de segunda enseñanza estadounidenses (en su segundo curso de química, y la mayoría en programas «avanzados»). El mejor de entre veinte clases de quinto grado de Minneapolis era superado por todos los componentes de veinte clases de Sendai, en Japón, y por diecinueve entre veinte en Taibei, Taiwan. Los estudiantes de Corea del Sur estaban muy por encima de los estadounidenses en todos los aspectos de matemáticas y ciencias, y los de trece años de la Columbia Británica (al oeste de Canadá) superaban a sus equivalentes estadounidenses en toda la tabla (en algunas disciplinas superaban a los coreanos). El veintidós por ciento de los chicos de Estados

[35] No incluyo aquí la lluvia de «porqués» con que los niños de dos años atacan a veces a sus padres, quizá en un intento de controlar el comportamiento de los adultos.

Unidos dicen que no les gusta la escuela, por sólo el ocho por ciento de los coreanos. Sin embargo, dos tercios de los americanos, por sólo un cuarto de los coreanos, dicen ser «buenos en matemáticas».

Estas desalentadoras tendencias del promedio de estudiantes de Estados Unidos se ven compensadas en ocasiones por la actuación de estudiantes sobresalientes. En 1994, un estudiante americano consiguió una marca de una perfección sin precedentes en la Olimpíada Matemática Internacional de Hong Kong, derrotando a otros trescientos sesenta estudiantes de sesenta y ocho naciones en álgebra, geometría y teoría del número. Uno de ellos, Jeremy Bem, de diecisiete años, comentó: «Los problemas de matemáticas son como rompecabezas de lógica. No hay nada rutinario: todo es muy creativo y artístico.» Pero aquí no hablo de producir una nueva generación de científicos y matemáticos de primera categoría, sino de la cultura científica del público en general.

El sesenta y tres por ciento de los adultos norteamericanos no son conscientes de que el último dinosaurio murió antes de que apareciera el primer humano; el setenta y cinco por ciento no sabe que los antibióticos matan a las bacterias pero no a los virus; el cincuenta y siete por ciento no sabe que los «electrones son más pequeños que los átomos». Las encuestas muestran que algo así como la mitad de los adultos de Estados Unidos no saben que la Tierra gira alrededor del Sol y tarda un año en hacerlo. En mis clases en la Universidad de Cornell he encontrado estudiantes brillantes que no saben que las estrellas salen y se ponen por la noche, o ni siquiera que el Sol es una estrella.

Debido a la ciencia ficción, el sistema educativo, la NASA y el rol que juega la ciencia en la sociedad, los estadounidenses están mucho más expuestos a la percepción copernicana que el humano medio. Una encuesta de 1993 realizada por la Asociación China de Ciencia y Tecnología revela que, como en Estados Unidos, no más de la mitad de personas en China sabe que la Tierra gira alrededor del Sol una vez al año. Podría ser muy bien, pues, que más de cuatro siglos y medio después de Copérnico, la mayor parte de la gente de la Tierra creyera todavía, en el fondo de su corazón, que nuestro planeta está inmóvil en el centro del universo y que somos profundamente «especiales».

Ésas son las preguntas típicas del «alfabetismo científico». Los resultados son desmoralizadores. Pero ¿qué es lo que miden? La memorización de afirmaciones autoritarias. Lo que *deberían* preguntar es *cómo sabemos...* que los antibióticos discriminan entre microbios, que los electrones son «más pequeños» que los átomos, que el Sol es una estrella a la que la Tierra da la vuelta una vez al año. Estas preguntas son una medida

mucho más auténtica de la comprensión de la ciencia por parte del público, y los resultados de estas pruebas serían sin duda más descorazonadores todavía.

Si se acepta la verdad literal de todas las palabras de la Biblia, la Tierra tiene que ser plana. Lo mismo ocurre con el Corán. Por tanto, declarar que la Tierra es redonda equivale a decir que uno es ateo. En 1993, la autoridad religiosa suprema de Arabia Saudí, el jeque Abdel-Aziz Ibn Baaz, emitió un edicto, o *fatwa,* declarando que el mundo es plano. Todo el que crea que es redondo no cree en Dios y debe ser castigado. No deja de ser irónico que la lúcida evidencia de que la Tierra es una esfera, reunida por el astrónomo greco-egipcio del siglo II Claudio Tolomeo, fuese transmitida a Occidente por astrónomos musulmanes y árabes. En el siglo IX bautizaron al libro de Tolomeo en el que se demuestra la esfericidad de la Tierra como el *Almagesto,* «el más grande».

He conocido muchas personas que se sienten ofendidas por la evolución, que preferirían apasionadamente ser la obra artística personal de Dios que haber surgido del fango por fuerzas físicas y químicas ciegas desarrolladas durante eones. También suelen ser reacios a exponerse asiduamente a las pruebas. La evidencia tiene muy poco que ver con ellos: creen lo que desean que sea verdad. Sólo el nueve por ciento de los norteamericanos acepta el descubrimiento central de la biología moderna de que los seres humanos (y todas las demás especies) han evolucionado lentamente por procesos naturales de una serie de seres más antiguos sin que fuera necesaria la intervención divina en el camino. (Cuando se les pregunta simplemente si aceptan la evolución, el cuarenta y cinco por ciento de los norteamericanos dice que sí. La cantidad asciende al setenta por ciento en China.) Cuando se exhibió en Israel la película *Parque Jurásico,* algunos rabinos ortodoxos la condenaron porque aceptaba la evolución y enseñaba que los dinosaurios vivieron hace cien millones de años... cuando, como se establece claramente en el Rosh Hashonah y en toda ceremonia de boda judía, el universo tiene menos de seis mil años de antigüedad. La prueba más clara de nuestra evolución puede encontrarse en nuestros genes. Pero la evolución sigue teniendo detractores, irónicamente entre aquellos cuyo propio ADN la proclama... en las escuelas, en los tribunales, en las editoriales de libros de texto, y en la cuestión de cuánto dolor podemos infligir a otros animales sin cruzar algún umbral ético.

Durante la Gran Depresión, los maestros disfrutaban de seguridad de trabajo, buenos sueldos y respetabilidad. Enseñar era una profesión admirada, en parte porque se reconocía que aprender era una manera de salir de la pobreza. Poco de ello es cierto hoy. Y así, la enseñanza de la ciencia (y otras) se hace demasiado a menudo de manera incompetente o poco inspiradora y sus practicantes, por asombroso que sea, tienen poca preparación o ninguna

en los temas que presentan, se impacientan con el método y muestran ansias por llegar a los descubrimientos de la ciencia... y a veces son incapaces ellos mismos de distinguir la ciencia de la pseudociencia. Los que tienen preparación a menudo consiguen trabajos mejor pagados en otra parte.

Los niños necesitan experimentar con sus propias manos el método experimental en lugar de leer en un libro cosas sobre la ciencia. Se nos puede hablar de la oxidación de la cera como explicación de la llama de la vela. Pero tenemos una sensación mucho más vivida de lo que pasa si vemos arder la vela brevemente en una campana de cristal hasta que el dióxido de carbono producido por la duerna rodea la mecha, bloquea el acceso al oxígeno y la llama parpadea y se apaga. Se nos pueden explicar las mitocondrias de las células y cómo transmiten la oxidación a la comida al igual que la llama quemando la vela, pero es totalmente distinto verlas en el microscopio. Se nos puede decir que el oxígeno es necesario para la vida de algunos organismos y no para otros. Pero empezamos a entenderlo realmente cuando comprobamos la proposición en una campana de cristal totalmente desprovista de oxígeno. ¿Qué hace el oxígeno por *nosotros?* ¿Por qué sin él moriríamos? ¿De dónde viene el oxígeno del aire? ¿Está asegurado el suministro?

La experimentación y el método científico se pueden enseñar en muchas materias distintas de la ciencia. Daniel Kunitz es un amigo mío de la universidad. Ha sido toda la vida un profesor de ciencias sociales innovador en institutos de enseñanza media. ¿Los alumnos quieren entender la Constitución de Estados Unidos? Se les puede decir que la lean, artículo tras artículo, y luego la comenten en clase... pero, lamentablemente, acabarán todos dormidos. O se puede intentar el método de Kunitz: prohibir a los estudiantes leer la Constitución. A cambio, los invita a celebrar una Convención Constitucional, dos por cada estado. Primero plantea en detalle a cada uno de los trece equipos los intereses particulares de su estado y región. A la delegación de Carolina del Sur, por ejemplo, le hablará de la primacía del algodón, la necesidad y moralidad del tráfico de esclavos, el peligro planteado por el norte industrial, etc. Las trece delegaciones se reúnen y, con un poco de guía facultativa, pero principalmente solos, escriben una constitución durante unas semanas. Luego leen la Constitución de verdad. Los estudiantes han reservado el poder de declarar la guerra al presidente. Los delegados de 1787 lo asignaron al Congreso. ¿Por qué? Los estudiantes han liberado a los esclavos. La Convención Constitucional original no lo hizo. ¿Por qué? Eso exige una mayor preparación de los profesores y más trabajo para los estudiantes, pero la experiencia es inolvidable. Es difícil no pensar que las naciones de la Tierra estarían mejor si todos los ciudadanos se sometieran a una experiencia comparable.

Necesitamos más dinero para preparar y pagar a los profesores, y para laboratorios. Pero en Estados Unidos los aspectos vinculados a la escuela suelen perder la votación. Nadie sugiere que se usen los impuestos de propiedades para engrosar el presupuesto militar, o los subsidios de agricultura, o para limpiar residuos tóxicos. ¿Por qué sólo la educación? ¿Por qué no financiarla con tasas generales a nivel local y estatal? ¿Qué tal una tasa especial de educación para las industrias que tienen una necesidad especial de trabajadores con preparación técnica?

Los niños estadounidenses no trabajan bastante en la escuela. El año escolar es de ciento ochenta días, comparado con doscientos veinte en Corea del Sur, unos doscientos treinta en Alemania y doscientos cuarenta y tres en Japón. Los niños de algunos de estos países van a la escuela el sábado. El estudiante medio de instituto en Estados Unidos dedica tres horas y media a la semana a hacer deberes. El tiempo total que dedica a los estudios, en el aula y fuera de ella, es de unas veinte horas por semana. Los japoneses de quinto curso dedican una media de treinta y tres horas a la semana. Japón, con la mitad de población que Estados Unidos, produce el doble de científicos e ingenieros con títulos avanzados al año.

Durante cuatro años de instituto, los estudiantes americanos dedicaron menos de mil quinientas horas a temas como matemáticas, ciencia e historia. Los japoneses, franceses y alemanes dedicaron más del doble de tiempo. Un informe de 1994 encargado por el Departamento de Educación de Estados Unidos apunta:

> El día escolar tradicional tiene que contener ahora toda una serie de requisitos para lo que se ha llamado «nuevo trabajo de las escuelas»: educación sobre seguridad personal, sobre consumo, sida, conservación y energía, vida familiar y preparación para conducir.

Así pues, debido a las deficiencias de la sociedad y a la inadecuación de la educación en el hogar, sólo se dedican unas tres horas al día a los temas académicos centrales en el instituto.

Está demasiado extendida la idea de que la ciencia es «excesivamente difícil» para la gente normal. Lo podemos ver reflejado en la estadística de que sólo alrededor del diez por ciento de los estudiantes de instituto estadounidenses optan por un curso de física. ¿Qué es lo que hace de pronto a la ciencia «excesivamente difícil»? ¿Por qué no es demasiado difícil para todos esos países que superan a Estados Unidos? ¿Qué ha ocurrido con el talento americano para la ciencia, la innovación técnica y el trabajo duro? En otros tiempos, los norteamericanos se enorgullecían de contar con inventores que abrieron el camino del telégrafo, el teléfono, la luz eléctrica, el fonógrafo, el automóvil y el aeroplano. Excepto en lo relativo a la

informática, todo eso parece algo del pasado. ¿Dónde ha ido a parar todo aquel «ingenio yanqui»?

La mayoría de los niños americanos no son estúpidos. Parte de la razón por la que no se aplican al estudio es que reciben pocos beneficios tangibles cuando lo hacen. Ser competente (es decir, conocer realmente la materia) en expresión verbal, matemáticas, ciencia e historia hoy en día no aumenta los ingresos de los jóvenes medios en los ocho años siguientes a su salida de la escuela, y la mayoría se emplean en empresas de servicios y no industriales.

Sin embargo, en los sectores productivos de la economía suele ser diferente. Hay fábricas de muebles, por ejemplo, que corren el riesgo de perder el negocio... no porque no haya clientes, sino porque muy pocos trabajadores al entrar son capaces de hacer operaciones aritméticas sencillas. Una importante compañía electrónica declara que el ochenta por ciento de los que aspiran a trabajar en ella no son capaces de superar una prueba matemática de quinto curso. Estados Unidos está perdiendo ya unos cuarenta mil millones de dólares al año (principalmente en descenso de productividad y el coste de educación para remediarlo) porque los trabajadores, en un grado excesivo, no saben leer, escribir, contar o pensar.

Según un informe del Comité Nacional de Ciencia de Estados Unidos de ciento treinta y nueve compañías de alta tecnología, las causas principales del declive de la investigación y el desarrollo que se atribuían a la política nacional eran: 1) carencia de una estrategia a largo plazo para afrontar el problema; 2) falta de atención a la preparación de futuros científicos e ingenieros; 3) demasiada inversión en «defensa» e insuficiente en investigación y desarrollo civil, y 4) poca atención a la educación preuniversitaria. La ignorancia se alimenta de ignorancia. La fobia a la ciencia es contagiosa.

Los que tienen la visión más favorable de la ciencia en Estados Unidos tienden a ser jóvenes varones blancos con educación universitaria y buen nivel de vida. Pero tres cuartas partes de los nuevos trabajadores norteamericanos de la próxima década serán mujeres no blancas e inmigrantes. No lograr despertar su entusiasmo —por no hablar de la discriminación— no sólo es injusto sino que es estúpido y contraproducente. Priva a la economía de los trabajadores preparados que necesita desesperadamente.

Los estudiantes afroamericanos e hispanos han mejorado sus resultados en las pruebas estándar de ciencia con relación a finales de la década de los sesenta, pero son los únicos. La diferencia media en matemáticas entre blancos y negros graduados sigue siendo grande en los cursos de enseñanza superior: de dos a tres niveles; pero la distancia entre los

blancos de cursos de enseñanza superior de Estados Unidos y, por ejemplo, los de Japón, Canadá, Gran Bretaña o Finlandia es dos veces mayor (con los estadounidenses a la zaga). Si uno recibe poca motivación y poca educación, no sabrá mucho... no es ningún misterio. Los afroamericanos de las ciudades con padres educados en la universidad tienen el mismo nivel universitario que los blancos de las ciudades con padres de educación universitaria. Según algunas estadísticas, incluir a un niño pobre en un programa *Head Start* duplica sus posibilidades de conseguir un empleo más tarde en la vida; el que completa un programa *Upward Bond* tiene cuatro veces más posibilidades de conseguir una educación universitaria. Para ser sinceros, sabemos lo que hay que hacer.

¿Y en cuanto a la universidad? Hay una serie de pasos obvios: mejora de la condición basada en el éxito de la enseñanza y promoción de los profesores en base a la actuación de sus estudiantes en pruebas estandarizadas de doble ciego; sueldos para los profesores que se acerquen a lo que podrían cobrar en la industria; más becas, ayudas y equipo de laboratorio; programas imaginativos e inspiradores y libros de texto en que los principales miembros de la facultad tengan un papel principal; cursos de laboratorio como requisito para graduarse; y prestar atención especial a los que tradicionalmente se han apartado de la ciencia. También deberíamos animar a los mejores académicos de la ciencia a dedicar más tiempo a la educación pública: libros de texto, conferencias, artículos en periódicos y revistas, apariciones en televisión. Y podría valer la pena intentar un primer curso obligatorio sobre pensamiento escéptico y métodos científicos.

----ooo---

El místico William Blake miró fijamente al sol y vio ángeles, mientras otros, más mundanos, «sólo percibían un objeto de las medidas y el color de una guinea dorada». ¿Vio Blake realmente ángeles en el sol, o era un error perceptual o cognitivo? No conozco ninguna fotografía del Sol que muestre nada de este tipo. ¿Vio Blake lo que la cámara y el telescopio no pueden ver? ¿O la explicación se encuentra dentro de la cabeza de Blake mucho más que fuera? ¿Y no es la verdadera naturaleza del Sol, tal como la revela la ciencia moderna, mucho más maravillosa: no meros ángeles o monedas de oro, sino una enorme esfera en la que pueden caber un millón de Tierras, en el centro de la cual se fusionan núcleos de átomos, el hidrógeno transformado en helio, la energía latente en el hidrógeno durante miles de millones de años liberada, la Tierra y otros planetas calentados e iluminados,

y el mismo proceso repetido cuatrocientos mil millones de veces en alguna otra parte de la galaxia de la Vía Láctea?

Los proyectos, instrucciones detalladas y órdenes de trabajo para construir una persona desde la nada ocuparían unos mil volúmenes de enciclopedia si se escribieran en inglés. Sin embargo, cada célula de nuestro cuerpo contiene una serie de esas enciclopedias. Un quasar está tan lejos que la luz que vemos empezó su viaje intergaláctico antes de que se formara la Tierra. Toda persona de la Tierra desciende de los mismos antepasados no del todo humanos del este de África hace algunos millones de años, lo que nos hace a todos primos.

Siempre que pienso en alguno de estos descubrimientos siento un escalofrío de entusiasmo. Se me acelera el corazón. No puedo evitarlo. La ciencia es una sorpresa y una delicia. Reconozco mi sorpresa cada vez que una nave espacial sobrevuela un nuevo mundo. Los científicos planetarios se preguntan a sí mismos: «Oh, ¿es así? ¿Cómo no se nos ocurrió?» Pero la naturaleza siempre es más sutil, más compleja, más elegante de lo que somos capaces de imaginar. Lo que es sorprendente, dadas nuestras limitaciones manifiestas, es que hayamos sido capaces de penetrar tanto en los secretos de la naturaleza.

Casi todos los científicos, en un momento de descubrimiento o comprensión súbita, han experimentado un asombro reverencial. La ciencia —la ciencia pura, no con alguna aplicación práctica sino por ella misma— es un asunto profundamente emocional para los que la practican, como lo es también para los no científicos que de vez en cuando se zambullen en ella con el fin de saber qué se ha descubierto recientemente.

Y, como en una historia de detectives, es una gozada formular las preguntas clave, trabajar con explicaciones alternativas y quizá incluso avanzar en el proceso de descubrimiento científico. Consideremos estos ejemplos, algunos muy sencillos, otros no, elegidos más o menos aleatoriamente:

• ¿Podría haber un número entero no descubierto entre el 6 y el 7?
• ¿Podría haber un elemento químico no descubierto entre el número atómico 6 (que es carbono) y el número atómico 7 (que es nitrógeno)?
• Sí, ese nuevo conservante causa cáncer en las ratas. Pero ¿y si para inducir el cáncer en una persona, que pesa mucho más que una rata, se debiera tomar una libra de sustancia al día? En este caso, quizá el conservante no sea tan peligroso. ¿El beneficio de tener la comida conservada durante largos períodos superaría el pequeño riesgo adicional del cáncer? ¿Quién decide? ¿Qué datos se necesitan para tomar una decisión prudente?

• En una roca de tres mil ochocientos millones de años, uno encuentra una ratio de isótopos de carbono típicos de los seres vivos de hoy y diferente de los sedimentos orgánicos. ¿Deduce de ello que hace tres mil ochocientos millones de años había vida abundante en la Tierra? ¿O podrían haberse infiltrado en la roca los restos químicos de organismos más modernos? ¿O hay una manera de que los isótopos se separen en la roca aparte de los procesos biológicos?

• Las mediciones sensibles de corrientes eléctricas en el cerebro humano muestran que cuando ocurren ciertos recuerdos o procesos mentales entran en acción regiones particulares del cerebro. ¿Es posible que nuestros pensamientos, recuerdos y pasiones generen unos circuitos particulares de las neuronas del cerebro? ¿Sería posible simular estos circuitos en un robot?

• ¿Sería factible insertar nuevos circuitos o alterar los viejos en el cerebro de modo que cambien opiniones, recuerdos, emociones y deducciones lógicas? ¿Es esta desnaturalización terriblemente peligrosa?

• Su teoría del origen del sistema solar predice muchos discos planos de gas y polvo en toda la galaxia de la Vía Láctea. Mira por el telescopio y encuentra discos planos en todas partes. Llega felizmente a la conclusión de que la teoría ha quedado confirmada. Pero resulta que los discos que vio eran galaxias espirales muy alejadas de la Vía Láctea, y demasiado grandes para ser sistemas solares nacientes. ¿Debe abandonar su teoría? ¿O debe buscar un tipo de discos diferentes? ¿O es esto sólo una expresión de su poca disposición a abandonar una hipótesis desacreditada?

• Un cáncer creciente envía un boletín a las células que revisten los vasos sanguíneos: «Necesitamos sangre», dice el mensaje. Las células endoteliales, obedientes, forman puentes de vasos sanguíneos para suministrar sangre a las células del cáncer. ¿Cómo ocurre eso? ¿Se puede interceptar o cancelar el mensaje?

• Usted mezcla pintura violeta, azul, verde, amarilla, naranja y roja, y consigue un color marrón barro. Luego mezcla luz de los mismos colores y consigue blanco. ¿Qué ocurre?

• En los genes de los humanos y de muchos otros animales hay largas secuencias repetitivas de información hereditaria (llamada «sin sentido»). Algunas de esas secuencias causan enfermedades genéticas. ¿Podría ser que determinados segmentos del ADN fueran ácidos nucleicos revoltosos que se reproducen por su cuenta y desdeñan el bienestar del organismo que habitan?

• Muchos animales se comportan de una manera extraña justo antes de un terremoto. ¿Qué saben ellos que no sepan los sismólogos?

• Las palabras para nombrar a «Dios» de los antiguos aztecas y los antiguos griegos son casi las mismas. ¿Evidencia esto algún contacto o comunidad entre las dos civilizaciones, o se puede esperar que se dieran estas

coincidencias ocasionales entre dos lenguas por pura casualidad? O, como pensaba Platón en *Cratylus,* ¿puede ser que al nacer tengamos algunas palabras dentro?

• La segunda ley de termodinámica afirma que en el universo, tomado como un todo, aumenta el desorden a medida que pasa el tiempo. (Desde luego, pueden emerger localmente mundos y vida e inteligencia, al coste de una reducción en el orden en otra parte del universo.) Pero si vivimos en un universo en el que la presente expansión del big bang llegará a calmarse, detenerse y ser reemplazada por una contracción, ¿se podría revertir entonces la segunda ley? ¿Pueden los efectos preceder a las causas?

• El cuerpo humano utiliza un ácido clorhídrico concentrado en el estómago para disolver la comida y favorecer la digestión. ¿Por qué el ácido clorhídrico no disuelve el estómago?

• Las estrellas más antiguas, en el momento de escribir estas líneas, parecen ser más antiguas que el universo. Igual que al afirmar que una persona tiene hijos mayores que ella, no hace falta saber mucho para reconocer que alguien ha cometido un error. ¿Quién?

• Existe ahora una tecnología suficiente para mover átomos individuales de modo que se pueden escribir mensajes largos y complejos en una escala ultramicroscópica. También es posible hacer máquinas de la medida de una molécula. Hay ejemplos rudimentarios de esas dos «nanotecnologías» bien demostrados. ¿Dónde nos llevará eso en unas décadas más?

• En varios laboratorios diferentes se han encontrado moléculas complejas que, en condiciones adecuadas, hacen copias de ellas mismas en el tubo de ensayo. Algunas de estas moléculas, como el ADN y el ARN, están hechas de nucleótidos; otras no. Algunas usan enzimas para acelerar el ritmo de la química; otras no. A veces hay un error en la copia; a partir de este punto, el error se copia en sucesivas generaciones de moléculas. Así llegan a existir especies ligeramente diferentes de moléculas autorreplicantes, algunas de las cuales se reproducen más de prisa y con mayor eficiencia que otras. Son preferentemente las que prosperan. Con el tiempo, las moléculas en el tubo de ensayo se hacen cada vez más eficientes. Estamos empezando a atestiguar la evolución de las moléculas. ¿Qué percepción proporciona esto sobre el origen de la vida?

• ¿Por qué el hielo ordinario es blanco pero el glaciar es azul?

• Se ha encontrado vida muchos kilómetros por debajo de la superficie de la Tierra. ¿Hasta qué profundidad llega?

• Una leyenda del pueblo dogon de la república de Malí, según un antropólogo francés, dice que la estrella Sirio tiene una estrella compañera extremadamente densa. Sirio, en realidad, tiene una compañera así, aunque se necesita una astronomía muy sofisticada para detectarla. Por tanto: 1)

¿descendía el pueblo dogon de una civilización olvidada poseedora de grandes telescopios ópticos y astrofísica teórica?, o 2) ¿fueron instruidos por extraterrestres?, o 3) ¿oyeron algo los dogon sobre la pequeña compañera enana de Sirio de un visitante europeo?, o 4) ¿se equivoca el antropólogo francés y en realidad los dogon nunca tuvieron esa leyenda?

----ooo----

¿Por qué tiene que ser tan difícil para los científicos transmitir la ciencia? Algunos científicos —incluyendo algunos muy buenos— me dicen que les encantaría hacer divulgación, pero carecen de talento para ello. Dicen que saber y explicar no es lo mismo. ¿Cuál es el secreto?

Yo creo que sólo hay uno: no hablar al público en general como uno lo haría con sus colegas científicos. Hay términos que transmiten su significado al instante y con precisión a compañeros expertos. Uno puede encontrarse esas frases todos los días en el trabajo profesional, pero sólo sirven para confundir a una audiencia de no especialistas. Utilice el lenguaje más sencillo posible. Por encima de todo, recuerde lo que pensaba antes de entender usted mismo lo que está explicando. Recuerde los malentendidos en los que estuvo a punto de caer y señálelos explícitamente. Mantenga en mente con firmeza que hubo una época en la que no entendía nada de todo esto. Recapitule los primeros pasos que le llevaron de la ignorancia al conocimiento. Nunca olvide que la inteligencia natural está muy ampliamente distribuida en nuestra especie. Ciertamente, es el secreto de nuestro éxito.

El esfuerzo necesario es poco, los beneficios muchos. Entre los escollos potenciales está el exceso de simplificación, la necesidad de ahorrar calificaciones (y cuantificaciones), dar un mérito inadecuado a los muchos científicos implicados y trazar distinciones insuficientes entre analogía útil y realidad. Sin duda, deben buscarse soluciones de compromiso.

Cuanto más presentaciones de este tipo hace uno, más claro ve cuál de ellas funciona y cuál no. Hay una selección natural de metáforas, imágenes, analogías y anécdotas. Con el tiempo, uno encuentra que puede llegar casi a cualquier parte si camina por un sendero bien pavimentado que el público pueda recorrer. Luego puede adaptar las presentaciones a las necesidades de cada público determinado.

Como algunos editores y productores de televisión, hay científicos que creen que el público es demasiado ignorante o estúpido para entender la ciencia, que la empresa de la divulgación es fundamentalmente una causa perdida, o incluso que equivale a la confraternización, si no a la contribución directa, con el enemigo. Entre las muchas críticas que podrían hacerse de esta

opinión —junto con su arrogancia insufrible y su ignorancia de toda una serie de ejemplos logrados de popularización de la ciencia— es que sólo sirve de confirmación personal. Y, para los científicos implicados, es contraproducente.

El apoyo a gran escala del gobierno a la ciencia es relativamente reciente, a partir de la segunda guerra mundial, aunque el mecenazgo de algunos científicos por parte de ricos y poderosos es mucho más antiguo. Con el final de la guerra fría se hizo prácticamente imposible seguir jugando la carta de la defensa nacional, que proporcionó apoyo a todo tipo de investigaciones científicas. Creo que, en parte sólo por esta razón, la mayoría de los científicos se sienten ahora cómodos con la idea de popularizar la ciencia. (Como casi todo el apoyo a la ciencia procede de los fondos públicos, la oposición de los científicos a una divulgación eficiente sería un extraño flirteo con el suicidio.) Es más probable que el público apoye lo que entiende y aprecia. No me refiero a escribir artículos para el *Scientific American,* por ejemplo, revista que leen los entusiastas de la ciencia y científicos de otros campos. Tampoco hablo sólo de dar cursos de introducción a no licenciados. Hablo de los esfuerzos por comunicar la sustancia y enfoque de la ciencia en los periódicos, revistas, radio y televisión, en conferencias para el público en general y en libros de texto de la escuela elemental, media y superior.

Desde luego, la divulgación debe seguir unas pautas de valoración determinadas. Es importante no crear confusión ni mostrarse paternalista. En ocasiones, al intentar estimular el interés público, los científicos han ido demasiado lejos... derivando por ejemplo conclusiones religiosas injustificadas. El astrónomo George Smoot comentó que descubrir pequeñas irregularidades en la radiación que dejó el big bang fue como «ver a Dios cara a cara». León Lederman, el físico laureado con el Premio Nobel, describió el bosón de Higgs, un bloque hipotético de creación de materia, como «la partícula de Dios», y así tituló un libro. (En mi opinión, todas son partículas de Dios.) Si el bosón de Higgs no existe, ¿queda desaprobada la hipótesis de Dios? El físico Frank Tipler propone que la informática en un futuro remoto demostrará la existencia de Dios y propiciará la resurrección de la carne.

Los periódicos y la televisión pueden producir chispas cuando nos dan una visión de la ciencia, y esto es muy importante. Pero —aparte del aprendizaje o las clases y seminarios bien estructurados— la mejor manera de popularizar la ciencia es a través de libros de texto, libros populares, CD-ROM y discos láser. Así uno puede reflexionar sobre ello, ir a su propio ritmo, repasar las partes difíciles, comparar textos, analizar en profundidad. Sin embargo, es importante hacerlo correctamente, y especialmente en las

escuelas no suele ser así. Allí, como comenta el filósofo John Passmore, la ciencia se presenta a menudo

> como una cuestión de aprender principios y aplicarlos con procedimientos de rutina. Se aprende de libros de texto, no leyendo las obras de grandes científicos, ni siquiera las contribuciones diarias a la literatura científica... El científico que empieza, a diferencia del humanista que empieza, no tiene contacto directo con el genio. Ciertamente... los cursos escolares pueden atraer a la ciencia al tipo erróneo de persona: chicos y chicas poco imaginativos a quienes les gusta la rutina.

Yo sostengo que la divulgación de la ciencia tiene éxito si, de entrada, no hace más que encender la chispa del asombro. Para ello basta con ofrecer una mirada a los descubrimientos de la ciencia sin explicar del todo cómo se lograron. Es más fácil reflejar el destino que el viaje. Pero, si es posible, los divulgadores deberían intentar hacer una crónica de los errores, falsos principios, puntos muertos y confusiones aparentemente sin remedio que aparecieron en el camino. Al menos de vez en cuando, deberíamos proporcionar la prueba y dejar que el lector extraiga su propia conclusión. Eso convierte la asimilación obediente de nuevo conocimiento en un descubrimiento personal. Cuando uno mismo hace el descubrimiento —aunque sea la última persona de la Tierra en ver la luz— no lo olvida nunca.

Cuando era joven me inspiraron los libros y artículos sobre ciencia popular de George Gamow, James Jeans, Arthur Eddington, J. B. S. Haldane, Julián Huxley, Rachel Carson y Arthur C. Clarke, todos ellos con una buena preparación y la mayoría importantes practicantes de la ciencia. La popularidad de los libros bien escritos, con una explicación buena y profundamente imaginativa de la ciencia que llegan al corazón además de la mente parece ser mayor que nunca en los últimos veinte años, y tampoco tiene precedentes el número y diversidad disciplinar de los científicos que escriben estos libros. Entre los mejores divulgadores científicos contemporáneos se me ocurren Stephen Jay Gouid, E. O. Wilson, Lewis Thomas y Richard Dawkins en biología; Steven Weinberg, Alan Lightmann y Kip Thorne en física; Roaid Hoffmann en química; y las primeras obras de Fred Hoyle en astronomía. Isaac Asimov escribió con capacidad acerca de todo. (Y aunque exige saber cálculo, la popularización de la ciencia más provocadora, excitante e inspiradora de las últimas décadas me parece el primer volumen de las *Conferencias de introducción a la física* de Richard Feynman.) A pesar de todo, está claro que los esfuerzos actuales no son proporcionales en absoluto con el bien público. Y, desde luego, si no sabemos leer, no podemos beneficiarnos de estas obras, por muy inspiradoras que sean.

Me gustaría que rescatásemos al señor «Buckley» y a millones como él. También me gustaría que dejásemos de producir estudiantes de instituto poco curiosos, carentes de espíritu crítico y de imaginación. Nuestra especie necesita, y merece, una ciudadanía con la mente despierta y abierta y una comprensión básica de cómo funciona el mundo.

Sostengo que la ciencia es una herramienta absolutamente esencial para toda sociedad que tenga la esperanza de sobrevivir hasta el próximo siglo con sus valores fundamentales intactos... no sólo la ciencia abordada por sus practicantes, sino la ciencia entendida y abrazada por toda la comunidad humana. Y, si eso no lo consiguen los científicos, ¿quién lo hará?