

Los límites del conocimiento

Antonio Fernández-Rañada

(“Sobre el hombre y la cultura de nuestro tiempo”, VVAA, Fundación Central-Hispano- Ediciones Nobel, Oviedo, 1999, pp.75-94)

Los sorprendentes éxitos de la ciencia, produciéndose a un ritmo progresivamente acelerado, son un elemento familiar de la cultura de los últimos dos siglos. Forman parte del telón de fondo ante el que se desarrollan nuestras vidas y, por muy inesperados e increíbles que nos resulten, nos parecería mucho más extraño vivir sin verlos casi a diario en los periódicos. Uno de los estereotipos aceptados ya por la opinión pública es que la ciencia lo puede todo, o quizá que lo podría todo si no fuese porque hay grupos económicos interesados en que no se resuelvan algunos problemas. Lo podemos ver en cómo algunos exigen la inmediata solución de problemas como el del SIDA o el de la energía limpia y barata, como si eso estuviese en manos de los científicos pero no se pudiese realizar por la conjura de algunos poderosos.

Este prestigio desmedido que tiene la ciencia (o mejor quizá la alta valoración de su poder) se basa en sus logros en dos terrenos: el de las ideas y el de las cosas, porque la ciencia nos ayuda a entender el mundo y, a la vez, nos permite modificarlo. O sea en que puede ofrecer explicaciones sobre el comportamiento de la materia, tanto de la inerte como de la viva, y también en que sirve para crear objetos que hacen más agradables nuestras vidas.

En los últimos años, vivimos una profunda crisis de la Modernidad, una de cuyas manifestaciones es el rechazo de la racionalidad científica por parte de algunos ámbitos intelectuales que repudian la validez de sus ideas sobre el universo, aunque sin cuestionar a la ciencia como instrumento necesario para sus aplicaciones técnicas. De modo especial atacan su objetividad, de la que los científicos suelen estar muy orgullosos, con la pretensión de que las verdades de la ciencia no son sino convenios a los que llegan grupos de científicos, acuerdos debidos en buena parte a su gusto o a las modas. Se ha establecido así una polémica, sobre todo entre algunos científicos y ciertas escuelas de sociología, que se conoce como la guerra de las ciencias (de la naturaleza y de la sociedad).

Esta polémica, junto con la insatisfacción que produce la enorme distancia que hay entre lo que ahora se puede hacer para mejorar la vida de la gente y lo que realmente se hace, ha forzado la discusión sobre las posibilidades de la racionalidad científica para entender el mundo, poniendo sobre la mesa la cuestión del futuro de la ciencia y de si existen o no límites a su desarrollo.

1. *¿Plus Ultra?*

Francis Bacon (1561-1626) fue uno de los pensadores que más influyó en el establecimiento del método experimental y, por tanto, en el nacimiento de la ciencia moderna. En la portada de su libro *Novum Organum*, la primera parte de su magno proyecto *The Great Instauration* con el que pretendía dar una base a las posibilidades del conocimiento, científico aparece un grabado con el estrecho de Gibraltar y las columnas de Hércules. Debajo de ellas una inscripción latina proclama “Muchos pasarán y el conocimiento crecerá”. Para los filósofos naturales, certero nombre de los científicos de entonces, el símbolo era claro. Las columnas de Hércules eran un emblema heráldico asociado con los reyes españoles (aunque aún no de España), con la inscripción “*Non Plus Ultra*”. No había nada más allá. Tras el descubrimiento de América, la frase fue cambiada a “*Plus Ultra*” por los Reyes Católicos, expresando así el orgullo de su monarquía de que España fuese el final del nuevo mundo, pero también la puerta de entrada al nuevo. La frase latina “*Plus Ultra*” pasó a ser la divisa de la ciencia, que abría constantemente la puerta a un nuevo mundo de verdades sobre la naturaleza. Pues bien, la cuestión que vamos a tratar es ¿podemos seguir usando esa divisa en el día de hoy? ¿La ciencia sigue “*Plus Ultra*” o ha llegado a un “*Non plus ultra*”?

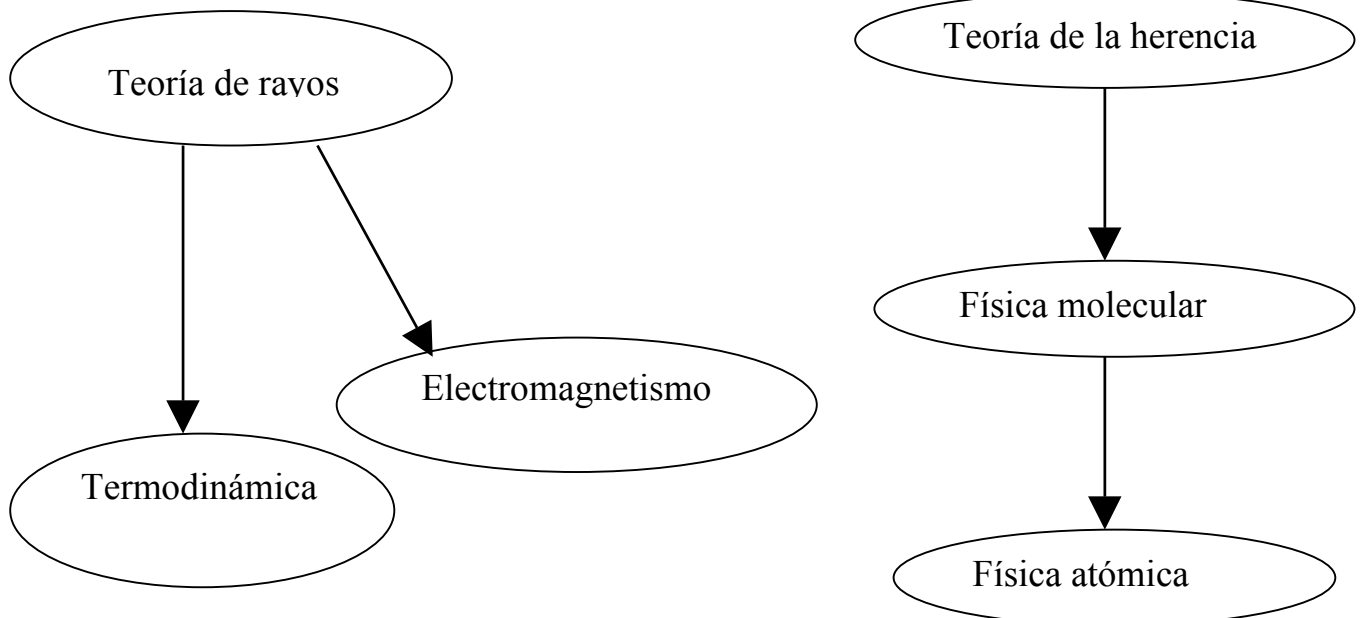
2. ¿Se acaba la ciencia?

Dos libros recientes de gran éxito plantean esa cuestión¹. Se trata de “Sueños de una teoría final” de Steven Weinberg, una de las figuras más notables de la física de partículas elementales y de “El fin de la ciencia. Los límites del conocimiento en el crepúsculo de la era científica” de John Horgan, periodista científico que antes era estudioso de la interpretación de textos literarios. Nótese la aparición de la idea de fin en los dos títulos. Hace mucho que se habla del fin del arte, de la historia, de la filosofía o de la novela; cabía esperar que le tocara alguna vez a la ciencia.

La tesis del primero es que la ciencia está a punto de terminarse, pero no porque se esté acercando a unos límites infranqueables, sino por ser tan omnisciente que está ya cerca de conocerlo todo. Weinberg es un reduccionista radical para quien todas las leyes de la naturaleza pueden deducirse de una a la que llama final, la más fundamental de todas y de la que se podrán deducir las demás. Lo explica así: imaginemos una gran pizarra en la que escribimos el nombre de todas las teorías científicas cada una dentro de un óvalo o un círculo. Desde el círculo de cada teoría dibujamos una flecha dirigida hacia los de las teorías en que se apoya la primera (así desde “teoría de rayos” bajarían flechas hacia

¹ S. Weinberg, “Sueños de una teoría final”, Crítica, Barcelona, 1996; J. Horgan, “El fin de la ciencia. Los límites del conocimiento en el crepúsculo de la era científica”, Debate, 1998.

“electromagnetismo” y “termodinámica” porque estas son necesarias para fundar la primera. O desde “teoría de la herencia” hacia “física molecular” y de esta a “física atómica”, etc). De este modo, llegaríamos a un esquema en el que todas las “flechas de explicación”, como él las llama, convergerían hacia un círculo que contendría el nombre de una teoría que sería el fundamento de todas las demás, o sea de toda la ciencia. Según Weinberg se trataría de la física de las partículas elementales. Merecería llamarse la teoría final pues conocerla equivaldría a saberlo todo, al menos en principio, porque de ella se podrían deducir todas las demás. Vemos que Weinberg siente el mismo vértigo que Adán y Eva cuando la serpiente les prometía ser como dioses, concedores del bien y del mal; no es de extrañar, el mito del jardín del Edén ha impulsado siempre a los científicos. Para Weinberg sólo quedan dos o tres decenios antes de que se consiga elaborar esa teoría final, aunque admite que los científicos y los tecnólogos seguirán teniendo mucho trabajo ocupándose de las aplicaciones de las leyes ya conocidas; o sea que quedará la tecnología. Es fácil comprender las enormes consecuencias que tendría en el orden del pensamiento que exista realmente esa teoría sea final que postula Weinberg, o sea la definitiva que contenga toda la sabiduría posible, todo “el bien y el mal” como esperaba Adán al comer la manzana.



Diagramas de Weinberg con flechas de explicación.

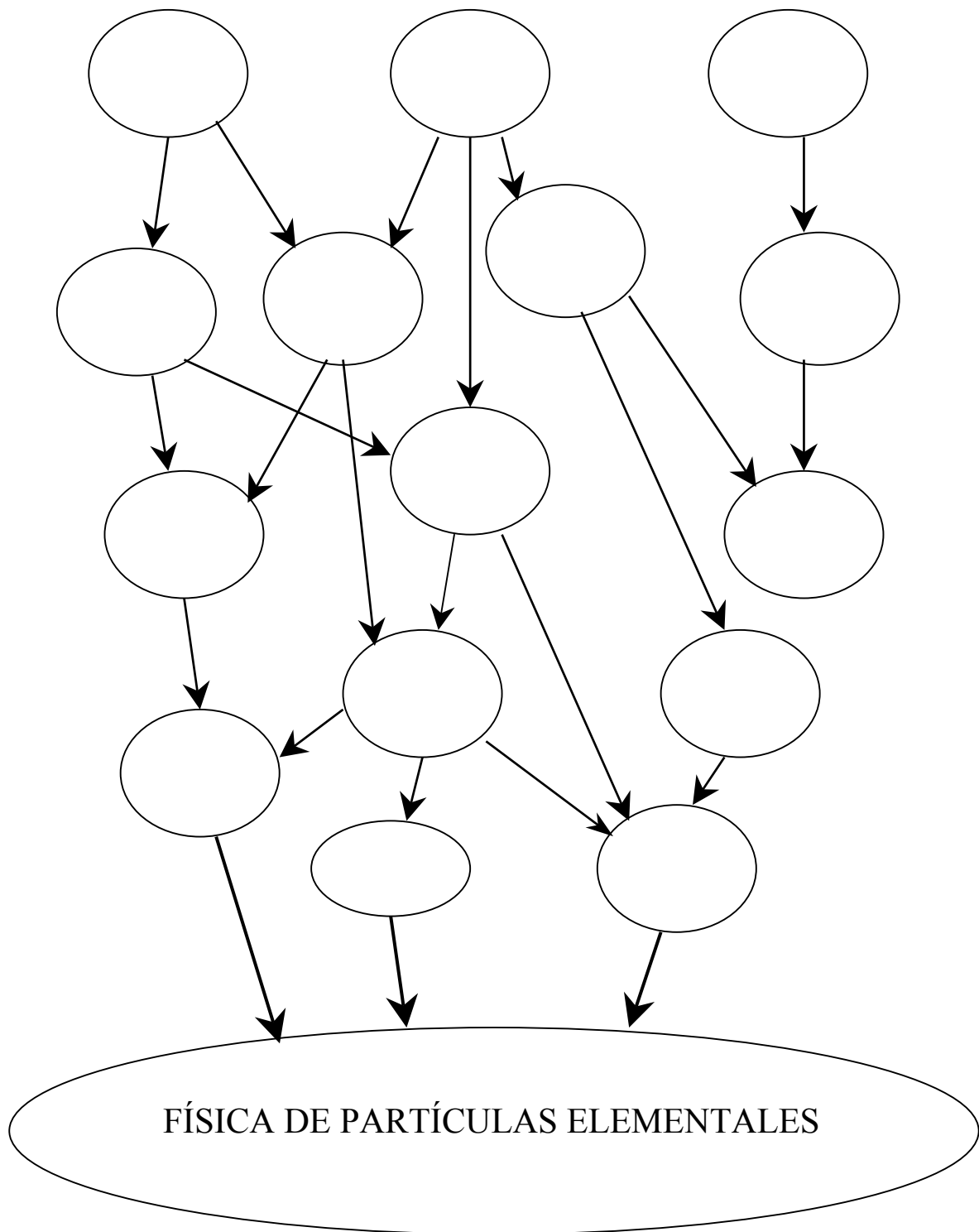


DIAGRAMA DE LA TEORÍA FINAL DE WEINBERG.
Cada óvalo vacío representa una teoría.

El autor del segundo libro, John Horgan, es un periodista científico que antes se había dedicado al estudio académico de la interpretación de textos literarios. También proclama el fin de la ciencia pero por razones muy distintas. Cree, como Weinberg, que estamos cerca de saberlo todo, o que no faltan muchas cosas, pero opina que las cuestiones aún abiertas tienen tal dificultad y exigen tanto apoyo social que será imposible desarrollar las teorías y hacer los experimentos necesarios para resolverlas.

Se puede entender mejor lo que quiere decir Horgan examinando el efecto que tuvo el final de la Guerra Fría sobre la física. La Segunda Guerra Mundial significó un desarrollo espectacular de algunas de sus ramas. Los máseres y láseres, el radar o la energía nuclear datan de los años de la contienda. Otros como los transistores, la criogenia o los ordenadores surgieron pocos años después, gracias al impulso tomado durante la guerra. Como dice Sánchez Ron en su libro “El poder de la ciencia”², “La ciencia cambió la guerra, pero también fue cambiada por ella”. Fue cuando los jefes militares norteamericanos se percataron que 50 físicos en un buen laboratorio podrían darles tanto poder como 50 divisiones.

El general Groves, el jefe militar del proyecto Manhattan, comprendió bien la importancia para las fuerzas armadas norteamericanas de tener buenas relaciones con los científicos de elite. También se dio cuenta de que la mejor manera de conseguirlo era ayudarles a tener buenos laboratorios incluso en temas sin aplicaciones militares aparentes, estableciendo así la idea de que no deberían discutirse las inversiones en la ciencia por poco aplicadas que pareciesen. En el clima de tensión mundial de la Guerra Fría, cada uno de los dos bloques sintió la necesidad de recurrir a todo aquello que sirviese para reforzar su prestigio. Los dos se convencieron que la exhibición de hazañas científicas era lo más útil para ello, por muy inútiles que pudiesen parecer a primera vista. Porque, tras Hiroshima y Nagasaki, la ciencia aparecía asociada con el poder y el temor, dos elementos en los que era fácil basar el prestigio. Si unas ciertas investigaciones no servían para nada, eso no era problema con tal que pareciesen fundamentales, sorprendentes y profundas. En todo caso, se esperaba que las aplicaciones “rentables” acabarían por seguir necesariamente más adelante. Así fue como la física de partículas elementales tuvo un desarrollo espectacular, recibiendo cuantiosas inversiones a pesar de ser considerada como el prototipo de ciencia pura y no aplicada. Nadie discutía los enormes gastos necesarios para sus carísimos aceleradores.

Pero al acabar la Guerra Fría con la caída del Muro de Berlín en 1989 y tras el hundimiento del sistema científico soviético, los efectos de

² J.M. Sánchez Ron, “El poder de la ciencia”, Alianza Editorial, Madrid, 1992.

propaganda de la ciencia empezaron a ser menos necesarios. Una muestra de ello fue la decisión en 1994 del Congreso de EEUU de parar la construcción del gran acelerador SSC que se iba a construir en Texas y que iba a ser la máquina más grande jamás construida por el hombre, con cinco mil personas a su servicio. A los legisladores norteamericanos les pareció demasiado caro, a pesar de que ya se había aprobado fondos para iniciar el programa de construcción. Es casi seguro que, si el Muro hubiera durado algunos años más, la construcción del SSC estaría ya avanzada.

Este ejemplo muestra muy bien lo que Horgan quiere decir al hablar de límites de la ciencia. Cuando la verdad se valora mucho menos que la utilidad, la falta de apoyo social puede ser un freno decisivo para muchas empresas científicas necesarias para perfilar las ideas básicas. Se justifica así que hablemos de límites de la ciencia.

Pero cabe enfrentar un tercer libro a estos dos. Se trata de “What remains to be discovered” de John Maddox³ que fue editor de la revista *Nature* durante 23 años. Desde esa experiencia Maddox pasa revista en su obra a las muchas cosas que cree que no sabemos y que conoceremos en el futuro. Su conclusión: a la ciencia le queda mucho por hacer y lo seguirá haciendo en el futuro previsible; no hay a la vista crisis ni límites ni fin de la ciencia.

3. ¿Podemos entenderlo todo?

Me concentraré ahora en sus límites en el terreno de las ideas, es decir en si existen límites de la capacidad humana de entender el mundo. Como decía antes, el ritmo de los descubrimientos científicos no ha cesado de crecer en los últimos tres siglos, digamos desde los *Principia* de Newton de 1687. La ciencia avanza a una velocidad vertiginosa. Si transcurrieron 144 años desde la hipótesis heliocéntrica de Copérnico hasta que fue explicada por la obra de Newton, sólo pasaron 27 entre la hipótesis de Planck y la formulación ya definitiva de la Mecánica Cuántica y nada más que cuatro desde la primera desintegración nuclear en 1938 hasta la producción de energía nuclear en 1942. Parece difícil que pueda mantenerse tal ritmo. Para Weinberg no será necesario: pronto lo sabremos todo y la carrera habrá terminado. Para Horgan no será posible: no nos interesa lo suficiente para seguir corriendo.

Realmente ¿es posible llegar a saberlo todo? Sin duda es una aspiración humana muy antigua. La tesis de Weinberg está basada en un anhelo muy antiguo; es una recreación del mito del Árbol del Edén, como se ha dicho más arriba, o quizá de la “hybris”, esa locura que se apoderaba

³ J. Maddox, “Lo que queda por descubrir”, Debate, 1999

de los héroes de las tragedias griegas llevándoles a despreciar sus límites humanos para enfrentarse a los dioses o a su destino.

Pero, ¿por qué habríamos de ser capaces de saberlo todo? Si pensamos en que los humanos hemos surgido de un proceso evolutivo a partir de seres vivos mucho menos complejos, no parece que haya ninguna razón para suponer que nuestra inteligencia sea tan alta como para poder entenderlo todo. Tal capacidad no da ninguna ventaja evolutiva en la lucha por tener más descendientes — ni en la época de los Neanderthal ni ahora —. Además, se puede considerar una arrogancia, que algunos calificarían de anticopernicana o antropocéntrica, esperar que podamos llegar a la teoría final de Weinberg tras tan sólo unos pocos siglos (tres o cuatro, cerca de cinco a lo más) de estudiar la naturaleza. A pesar de ello, la filosofía de la ciencia ha trabajado siempre sobre la idea tácita de que todos los experimentos necesarios serán un día posibles o que tenemos la capacidad de entenderlo todo. Pero ¿es así realmente? Al aceptarlo sin dudas, ¿no estaremos tomando los deseos por realidades?

Creo que una buena manera de plantearnos esta cuestión es examinar el caso del cerebro cuyo estudio es, muy probablemente, el problema más difícil de todos los que tiene hoy planteados la ciencia, así como el más importante. A lo largo de la evolución de las especies biológicas, el cerebro ha ido creciendo en complejidad, hasta llegar al del hombre, el que puede realizar más funciones y más intrincadas de entre todos los que hay aquí en la Tierra. El resultado es que somos los únicos animales capaces de pensamiento abstracto y de lenguaje articulado que permita expresarlo, comunicarlo y avanzar en el estudio de cualquier idea, en especial de pensar sobre el propio pensamiento. No cabe duda de que este nuestro cerebro es más complejo y adecuado a esas funciones que el de un perro, como también que el de éste es más complejo que el de un insecto. Pero, y esta idea es muy importante, si su complejidad creciente le hace más capaz de entender, también le hace más difícil de ser entendido.

Esto nos lleva a contemplar la evolución del cerebro como una carrera entre dos tendencias: la que le ha ido llevando a una mayor capacidad de entender el mundo y la que le impulsa a una mayor dificultad de ser entendido. ¿Quién ganará esa carrera? Una opinión muy frecuente entre los científicos (aunque también poco meditada) es que podremos llegar a entender completamente nuestro cerebro y todo el mundo también. Eso es lo que cree Weinberg, pero conviene darse cuenta de que no hay ninguna prueba de que vaya a ser así. Por el contrario, hay que reconocer que se trata sólo de un postulado, no más que una hipótesis previa. De hecho, se argumenta a veces que no admitirlo así define una actitud derrotista; si no creemos que podremos entender del todo al cerebro, sería imposible dedicar la enorme cantidad de energías, dedicación e incluso de

recursos económicos que son necesarios para lograrlos. Tendríamos así una profecía que se cumple por el mero hecho de ser formulada. Esto tiene sentido y cabe aceptarlo: desde el punto de vista metodológico es bueno estar convencido de que nuestros esfuerzos tendrán éxito un día. Pero nuestra discusión de ahora es epistemológica, no se refiere al método sino a la posibilidad de entender. Lo que nos interesa es entender si la capacidad humana de conocer el mundo tiene límites y por eso hay que subrayar que la afirmación de que no los tiene es sólo un postulado sin demostrar. La única manera de probarlo es llegar a construir esa teoría final de Weinberg o simplemente una teoría completa del cerebro. A pesar de lo que él dice, no parece que sea cosa de poco tiempo.

Es iluminador buscar la perspectiva cósmica. Si consideramos a la vida como un fenómeno universal, una manifestación de la dinamicidad de la materia, no hay por qué suponer que somos la única forma de vida inteligente. Quizá haya seres vivos en torno a otras estrellas cuya capacidad para el pensamiento abstracto sea tan superior al nuestro que la idea de que podamos entenderlo todo les haga sonreír. (Es dado imaginar que para ellos nuestra mente fuese como la de los gatos para nosotros.) Nótese bien que hay que distinguir bien aquí dos hipótesis que son claramente distintas: 1) que la evolución llega a generar especies dotadas de inteligencia de tanto nivel como para comprender todo lo que hay en el mundo y contestar a cualquier pregunta; y 2) que la humana sea una de esas especies inteligentes. Hay que darse cuenta, además, de que hay tres alternativas posibles: que se cumpla 1 pero no 2; que se cumplan 1 y 2, a la vez, y que no se cumpla ninguna. En todo caso, importa señalar que la validez de la hipótesis 2 no está garantizada a priori en modo alguno.

Las consideraciones de este tipo apoyan una idea a favor de la cual hay algunos argumentos convincentes. Se trata de que es necesario sustituir la usual estructura binaria del conocimiento (lo conocido y lo desconocido) por una ternaria (lo conocido, lo desconocido y lo incognoscible). Así opina, por ejemplo, Ralph E. Gomory, presidente de la Alfred P. Sloan Foundation de Nueva York que fue Vicepresidente Senior de Investigación de la empresa IBM. Doy este dato porque se trata de alguien muy ligado al mundo de la computación, en el que no faltan los partidarios de la ciencia omnicompetente, que llegará a descubrir todos los secretos del cerebro humano.

Otra manera de plantear esta cuestión de los límites, es medir la complejidad de un problema por su dificultad computacional. Sin entrar en detalles, se puede señalar que ese punto de vista apoya la convicción de que la capacidad humana de entender el mundo tiene límites.

4. Qué tipos de límites

Hay un primer tipo de límite que se refiere a las cuestiones últimas. Todos nosotros nos hacemos alguna vez preguntas como ¿De dónde venimos y adonde vamos?, ¿tiene sentido la vida?, ¿Existe Dios?... Es evidente que esas cuestiones están fuera del campo de la ciencia. Algunos dicen, por ejemplo, que los datos que hoy aporta la ciencia indican que la vida no tiene ningún sentido, es el caso de Weinberg. Pero forzoso es reconocer que eso es una interpretación de la ciencia (o sea metaciencia) y no ciencia. Los defensores de la omnicompetencia de la ciencia arguyen que esas preguntas no tienen sentido, a pesar que quienes las formulan las sienten como vivas y llenas y significativas. La afirmación de algunos científicos “la ciencia puede contestar a todas las preguntas que tienen sentido”, es poco aclaradora pues ¿cómo saber cuáles son esas preguntas? Se responde con argumentos confusos que se traducen en que las preguntas con sentido son aquellas contestables por la ciencia, de lo que resulta que “La ciencia puede contestar a las preguntas a las que puede contestar”. Tal circularidad no nos aclara nada, por el contrario nos indica que en ese terreno, la ciencia sí tiene límites.

Otros tipos de límites que podemos considerar son⁴

2. Límites éticos. Se refieren sobre todo al tipo de experimentos que se pueden hacer o a la utilización de los resultados de la investigación, bien al uso de dispositivos o aparatos, bien al de las ideas.

Quizá conviene mencionar que para Francis Bacon la ciencia “podría comprender toda la naturaleza universal de las cosas”, pero tiene tres límites de tipo ético o del que más arriba se llama cuestiones últimas, que expresaba en forma de tres normas: a) no poner nuestra felicidad en el conocimiento hasta el punto de olvidar que somos mortales; b) usar el conocimiento para darnos reposo y contento y no disgusto a aflicción (“distaste or repining”); y c) no pretender que la contemplación de la naturaleza nos permitirá alcanzar los misterios de Dios.

3. Límites de crecimiento. El crecimiento acaba muchas veces por imponerse límites a sí mismo. El caso más llamativo es el que se debe a la falta de recursos, lo que en su forma más dramática, referida a la sociedad humana, se conoce como a bomba demográfica de Malthus. Es sabido que este pensador británico llegó a finales del siglo XVIII a la conclusión de que la humanidad llegará a enfrentarse necesariamente a una tremenda catástrofe por el simple hecho de que el número de personar crece en progresión geométrica, mientras que la cantidad de alimentos lo hace en progresión aritmética. Como resultado, se frenaría el crecimiento en medio de conmociones sociales de enorme gravedad. La misma idea se aplica a

⁴ P. Medawar, “The limits of science”, Oxford University Press, Oxford, 1986.

otras comunidades biológicas. Una población de cualquier tipo de seres vivos, establecida en un ambiente favorable en un principio, pero limitado, acaba llegando sin embargo a un tamaño máximo por falta de espacio vital, de alimentos o por las molestias que se producen unos a otros. Así ocurre con una colonia de bacterias en un cultivo de laboratorio, con los peces en un lago o con cualquier otro tipo de animales. Esta limitación es uno de los problemas más graves de la humanidad de hoy, no porque se pare el aumento de la población sino por la manera en que ocurriría.

Hay otros límites parecidos pero menos dramáticos. Por ejemplo los animales tienen un tamaño máximo del que no pueden pasar en la evolución. Si imaginamos elefantes cada vez mayores, su peso aumentaría con el cubo de su altura, mientras que sus patas lo harían con el cuadrado, o sea más despacio. Como consecuencia deberían ser cada vez más gruesas en relación con el cuerpo, hasta llegar a un tamaño en que no habría espacio suficiente bajo su cuerpo. (Fue Galileo quien explicó primero esta propiedad). O también, debería pasar más tiempo cada día en alimentarse hasta no tener bastante desde la mañana a la noche.

Los economistas saben muy bien que hay límites claros al tamaño de una empresa. Muchas han quebrado por ignorarlos. Podríamos multiplicar los ejemplos de límites parecidos de crecimiento.

La ciencia podría tener uno similar si nuestra civilización tecnológica nos llevase a un holocausto nuclear o la destrucción de zonas del planeta por contaminación o a causar por error una pandemia que produjese un frenazo a la humanidad. Pero, aunque son estos peligros reales que hay que considerar, sería muy exagerado pensar que su probabilidad sea grande. Además serían límites de la propia humanidad antes que de la ciencia.

Para poder asegurar que la ciencia tiene límites de crecimiento, habría que detectar y comprender bien los mecanismos que los generan. Por ejemplo, se podría argumentar que la enorme cantidad de cosas que se sabe hoy plantea grandes dificultades al desarrollo de la ciencia. En otras palabras que sabemos tanto que resulta cada vez más difícil saber más. Varios mecanismos vienen enseguida a la mente. Alguien podría decir que hay ahora tantos textos o experimentos realmente significativos o determinantes que acceder a ellos es cada día más difícil, y que, por ello, es imposible saber qué es lo que realmente se sabe. La síntesis resultaría imposible, con una diversificación en líneas separadas que se hacen progresivamente más estériles por ello. O que se necesitarían estudios demasiado largos, con carreras de diez años o más, de modo que los científicos habrían pasado ya su época más creativa o tendrían menos energías. Este problema se aplicaría especialmente a las disciplinas más teóricas como la matemática o la física teórica, donde algunos de los científicos más importantes han sido extraordinariamente precoces

(Newton, Maxwell, Galois, Abel...) pues la capacidad de abstracción empieza a decaer antes de los treinta años de edad.

Es cierto que todo eso plantea grandes problemas a la estructura de la ciencia y a los mismos científicos, pero también hay que reconocer que ofrece un nuevo tipo de oportunidades. Se trata en buena parte de cuestiones técnicas para las que existen soluciones, como lo son bases de datos, servidores de artículos, revistas de tipo intermedio entre las de investigación y la prensa, gran cantidad de congresos, simposios o talleres, etc. En especial, la web facilita muchas cosas a quienes saben servirse de ella pues hay en ella muchos sitios que resumen lo más importante hecho cada semana en cada campo. No parece pues que existan límites de este tipo para la ciencia.

4. Límites experimentales. Podría ocurrir que los experimentos necesarios para avanzar en alguna rama científica fuesen demasiado complejos para poder gestionarlos. Se trataría del mismo problema que tienen ya muchas grandes empresas y que les lleva a cometer errores. De hecho algunos experimentos en física de partículas elementales implican a más de una docena de centros y a centenares de personas, científicos, ingenieros o personal auxiliar. Un caso así fue el descubrimiento del Z_0 , una partícula elemental básica en la teoría unificada del electromagnetismo y las fuerzas débiles y que valió el premio Nobel a Carlo Rubbia y a Van der Werde. Un problema clave para desarrollar la investigación en ese terreno fue conseguir la coordinación eficaz de tantos científicos. De hecho, se dijo entonces que Rubbia merecía un premio de gestión y dirección empresarial tanto como uno de ciencia.

Sin duda este problema plantea dificultades a la ciencia, pero no límites pues existen formas de gestión elaboradas para el manejo de la complejidad de las organizaciones, como bien saben los grandes dirigentes empresariales.

Sin embargo sí podría haber límites debidos a las ingentes necesidades económicas que tienen algunos experimentos, en especial los de la física de partículas elementales y los de la exploración del espacio. Tomemos el caso de los primeros, llevados a cabo en enormes laboratorios (como el CERN de Ginebra en el que participa España y que necesita de la financiación de 18 países para hacer frente a los gastos de sus costosísimas instalaciones). Ya vimos que los EEUU decidió cancelar el proyecto de SSC por su excesivo precio que probablemente se acercaría a 20.000 millones de dólares (unos tres billones europeos de pesetas), a pesar del evidente interés de los resultados que se obtendrían.

Estos aceleradores son necesarios para dos cosas: para conocer mejor las leyes de los constituyentes básicos de la materia y para investigar el nacimiento del universo. Hoy creemos con fundamento que el universo

nació en la gran explosión conocida como *big bang* hace unos 12.000 millones de años. Al nacer estaba todo muy caliente y se fue enfriando hasta el momento actual en que su temperatura es de unos 2,7 kelvin (o sea de unos 270 grados centígrados bajo cero) casi por todas partes. Para darnos una idea, el modelo actual dice que en el tiempo de unos 10^{-43} segundos, la temperatura era de unos 10^{30} grados⁵. Temperatura alta significa gran velocidad de las partículas que forman la materia, por lo que, para experimentar sobre esas temperaturas, necesitamos acelerar enormemente a las partículas elementales. Eso es lo que hacen los aceleradores. En otras palabras, nuestra capacidad de investigar experimentalmente el modelo del *big bang* para entender el origen del universo está limitada por la potencia de los aceleradores.

Con los que funcionan en la actualidad podemos experimentar hasta el tiempo de aproximadamente 10 billonésimas de segundo (o 10 picosegundos = 10^{-11} s) cuando la temperatura era de unos 10^{15} grados (mil billones). Con el SSC se podría llegar hasta una décima de picosegundo, pero para acercarnos al tiempo cero la potencia de los aceleradores crece de modo espectacular. Por ejemplo, para llegar a 10^{-33} segundos (10^{27} grados) sería necesario que el tamaño del acelerador fuese de unos 4 años luz, o sea la distancia a la estrella alfa-Centauri; para 10^{-43} segundos, el diámetro sería de unos 20.000 años-luz. Esto es claramente imposible, ahora y en cualquier futuro previsible. Alguien podría objetar diciendo que nuevas ideas podrían simplificar la cuestión, aunque hay que decir que hay razones muy fundamentales para dudarlo. Pero, en todo caso, sí podemos decir que la dificultad de los experimentos parece poner límites para la teoría final de Weinberg.

5. Límites cognitivos. Podría haberlos de dos clases: debidos a la limitada capacidad humana y lógicos.

Ya vimos antes que no hay motivos para suponer que la evolución nos haya hecho capaces de entenderlo todo sobre el mundo y las cosas. Nuestra intuición se desarrolla por la experiencia del mundo sensorial que ocurre en dimensiones humanas. La mayoría de la física que hoy se hace se refiere a ámbitos inaccesibles directamente a los sentidos y, por eso, difíciles de entender, como sabemos muy bien los profesores de Mecánica Cuántica, materia que plantea dificultades muy grandes a los alumnos por las extrañas propiedades que hay que suponer para los electrones y otras partículas.

⁵ La notación matemática 10^k indica un uno seguido de k ceros; y 10^{-k} , uno dividido por un uno seguido de k ceros. 10^{-43} segundos es un tiempo enormemente pequeño y 10^{30} grados un millón de billones de billones de grados. Es una notación adecuada para números muy grandes o muy pequeños.

Afortunadamente, los instrumentos de observación potencian nuestros sentidos y amplían los ámbitos accesibles, pero, al hacerlo, entramos en un terreno cada vez más extraño. Por ello es imaginable, aunque no seguro, que nuestra inteligencia llegue a encontrarse en un terreno demasiado difícil para progresar. O sea a encontrar un límite.

5. El teorema de Gödel.

El límite cognitivo más serio es el dado por este teorema.

Descartes propuso en su *Discurso del Método* de 1637 la mejor manera de razonar para resolver cualquier problema por complejo que sea. Su método consiste en analizar cualquier cuestión en elementos básicos y en aplicar luego reglas precisas de manera sucesiva, generando cadenas de inferencias lógicas elementales que serían algo así como los átomos del pensamiento. De esa manera esperaba que todo el conocimiento podría deducirse a partir de primeros principios.

Un capítulo posterior en la búsqueda del sistema perfecto para obtener verdades científicas seguras es el intento del gran matemático alemán David Hilbert (1862-1943) de desarrollar un método para resolver todos los problema de matemáticas, sin que ninguno pudiese escapar de su aplicación, ¡el sueño de Descartes! Su ambicioso proyecto buscaba fundamentar la matemática sobre bases absolutamente firmes e indudables, mediante axiomas y reglas de inferencia aplicadas sucesivamente de manera algorítmica. Lo que él esperaba era llegar a construir un método con el que se podría probar la verdad o falsedad de cualquier proposición. O sea, una teoría final de las matemáticas, análoga a la soñada por Weinberg. En 1900 no lo había conseguido y por eso, cuando dio una conferencia en el Congreso Internacional de Matemáticas de París de ese año, propuso el encontrar ese método como uno de los grandes retos de la matemática del siglo XX.

Pero, tras décadas más tarde, el joven matemático austriaco, nacionalizado luego norteamericano Kurt Gödel (1906-1978) echó por tierra las esperanzas de Hilbert con un famoso teorema, según el cual todo sistema formal, basado en axiomas y reglas de inferencia, incluye necesariamente afirmaciones dotadas de sentido que no se pueden probar ni refutar desde dentro del sistema. Se dice que tales proposiciones son *indecidibles*. Muchos opinan que Gödel es uno de los gigantes intelectuales, y algunos llegan a decir que probablemente es una de las pocas personalidades de este siglo que serán recordadas dentro de mil años⁶. Sin duda su teorema presenta un fuerte obstáculo a las esperanzas de lograr una teoría final y definitiva de la naturaleza.

⁶ J.A. Paulos, *Más allá de los números*, Tusquets, Barcelona, 1993.

En realidad son dos los teoremas de Gödel que nos interesan. Para entenderlos hay que decir que es deseable que un sistema formal sea a la vez *consistente y completo*.

Lo primero significa que no debe llevar a contradicciones, o sea que no permita probar simultáneamente un teorema y su contrario, “A” y “no A”. Lo segundo que cualquier sea posible probar o refutar cualquier afirmación interna al sistema.

El llamado primer teorema de incompletitud de Gödel demuestra que cualquier sistema formal que contenga como mínimo la aritmética es incompleto. Por muy elaborado que sea siempre habrá enunciados que no podrán ser probados ni refutados. Por ejemplo nadie podrá presentar una lista de axiomas pretendiendo que toda la matemática se deduce de ellos (lo mismo si están escritos en unas pocas páginas que si son tantos y tan complejos que se necesita para escribirlos un millón de libros de mil páginas cada uno o si están grabados en un disco de ordenador equivalente a todos los que hoy existen juntos).

Supongamos que se escribe una serie de proposiciones en un cierto sistema formal y que se numeran 1, 2, 3, 4, Nos proponemos probarlas sucesivamente. Supongamos que, tras probar o refutar los diez primeros llegamos al 11 que dice

11. La proposición 11 no se puede probar en este sistema.

Esta afirmación es perturbadora porque sólo es verdadera si no se puede probar. Si se supone que se puede probar se llega a una contradicción. O sea que no se puede probar y sí es verdadera.

Puede parecer que se trata de una afirmación sin interés ni sustancia, pero los lógicos nos dicen que no es así, que sí es significativa. Además Gödel da ejemplos no tan simples, de hecho muy complejos, de proposiciones que sabemos ciertas pero que no son probables.

Un segundo teorema de Gödel dice algo sorprendente: una de las proposiciones indecidibles es la que afirma que un sistema formal completo es consistente. O, en otras palabras, ningún sistema matemático formal puede demostrar su propia consistencia. O también, que la ausencia de contradicción es indecidible.

El teorema de Gödel impide la construcción de una física total expresable mediante un sistema formal. Sin embargo hay que insistir en que no se trata de un límite al conocimiento, *sino al conocimiento formalizable*. O sea al conocimiento expresable mediante un sistema que manipula símbolos a los que se da luego un significado que no afecta a la validez de las pruebas. Por ello muchos insisten en que no se aplica a teorías que, aunque sí usen las matemáticas, no lo hacen de esa manera formal.

Pongamos algunos ejemplos de cuestiones científicas que son hoy muy importantes. ¿Cómo apareció el lenguaje y cómo lo adquieren los niños? ¿Cambiará el clima la actividad humana? ¿En qué consiste la consciencia? ¿Hay vida o inteligencia fuera de la Tierra? ¿Cuál será el futuro del universo? Sin duda son problemas candentes e importantes, pero nadie espera que se puedan resolver mediante un sistema formal de axiomas y reglas de inferencia. Sin embargo, nótese que sí hay teorías importantes que se expresan formalmente: la geometría de Euclides (u otras muchas), la mecánica newtoniana o, según se pretende y espera hoy, la física de partículas elementales.

6. El reduccionismo.

He dicho antes que Weinberg es un reduccionista radical. ¿Qué significa eso? El reduccionismo se refiere a la relación de un sistema — como un ser vivo o un sistema inerte — con sus constituyentes. Se dice a menudo que se trata de la afirmación de que el conocimiento de los constituyentes garantiza el del conjunto y que es una postura obligada para un científico. Se trata de una cuestión muy controvertida sobre la que han corrido y corren océanos de tinta y se han dado opiniones muy confusas. Para empezar conviene advertir que hay varias clases de reduccionismo que cabe calificar de ontológico, metodológico y epistemológico. Es necesaria esa distinción pues muchas personas son reduccionistas en un sentido pero no en otro⁷.

La cuestión ontológica se plantea al nivel de los constituyentes. La pregunta pertinente es aquí ¿de qué están compuestos los sistemas? En el caso de los seres vivos, ¿sus componentes son los mismos que los de la materia inerte? También: ¿es un sistema nada más que la suma de sus partes? La cosa es sutil pues hay varios niveles. Por ejemplo, los átomos están compuestos de electrones y núcleos y esto basta para muchos propósitos. Pero los núcleos están compuestos, a su vez, de nucleones y estos de quarks.

El reduccionismo metodológico se refiere a la estrategia a seguir en el estudio, si se deben investigar sólo los componentes o considerar más bien niveles superiores de organización. En biología, por ejemplo, si hay que concentrarse en las moléculas o dedicarse también a la célula, el organismo o la población.

La epistemología es el estudio del conocimiento científico, especialmente a la ordenación de los datos en teorías y a su capacidad explicación. Desde el punto de vista epistemológico, es decir explicativo, se trata de saber si las leyes de un nivel de complejidad se pueden deducir

⁷ A. Fernández-Rañada, “Los muchos rostros de la ciencia”, Ediciones Nobel, Oviedo 1995.

de las de un nivel inferior. Por ejemplo, si las de la física molecular o de la materia sólida resultan ser o no una consecuencia lógica de las de las partículas elementales. O si la biología puede reducirse a la física o a la química, en el sentido de que sus leyes se obtengan por un puro desarrollo de las de estas.

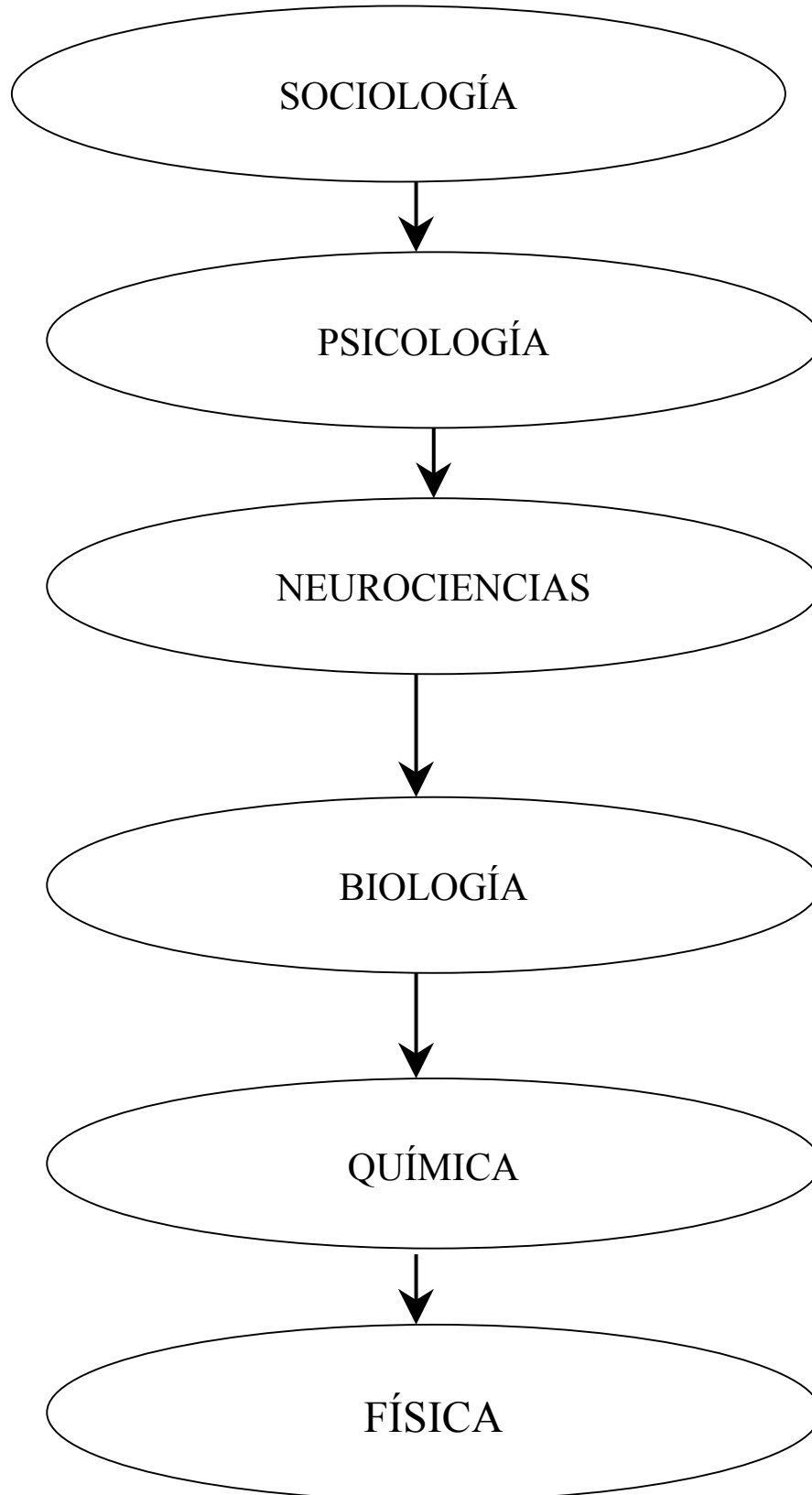
Estas distinciones son necesarias porque una misma persona puede ser considerado o no como reduccionista, según lo que tengamos en mente. Hay por ejemplo muchos científicos que se declaran reduccionistas, pero que tras una discusión descubren que lo son en el sentido ontológico o metodológico, pero no desde el punto de vista epistemológico. La cosa es importante porque es en este último sentido en el que se plantea la idea de Weinberg de la teoría final.

Según los reduccionistas radicales, abundantes entre los físicos que estudian las partículas elementales como Weinberg, toda la ciencia puede ser construida a partir de las leyes de los constituyentes básicos de la materia, es decir que todas son un puro desarrollo de la física de partículas. Aun admitiendo que esta reducción no pueda ser llevada a la práctica todavía, están convencidos que se llegará a conseguir en el futuro.

Sin duda la ciencia ha conseguido ya algunas reducciones parciales con éxito grande. Por ejemplo, la termodinámica de los gases se puede entender como una teoría cinética de sus componentes, las moléculas, en la que el concepto de temperatura se reduce al de energía media de esas moléculas (prescindiendo de alguna sutileza irrelevante aquí). Una parte de la química se ha reducido a la física y, gracias al descubrimiento del DNA, mucho de la genética se ha reducido a la química. Esto indica que al menos un cierto grado de reduccionismo, es una postura muy sana.

Pero el reduccionismo tradicional de la ciencia se enfrenta al difícil desafío de las propiedades emergentes, que sólo se pueden predicar de un sistema pero no de sus componentes. Así, los átomos y las moléculas están constituidos por núcleos y electrones, pero la química es una ciencia autónoma, muchas de cuyas leyes no se pueden deducir de la física; los seres vivos están formados por sustancias químicas, pero la vida es una propiedad emergente y la biología mantiene su independencia porque muchas de sus leyes no se pueden deducir de la química; lo mismo ocurre con la psicología respecto a la biología, la sociología respecto a la psicología o la economía respecto a la sociología.

Vemos así que el mundo está estructurado en niveles de complejidad creciente — partículas elementales, núcleos, átomos, moléculas, células, seres vivos pluricelulares, sistemas sociales y económicos, planetas,... —. Para el reduccionismo radical, todas las propiedades de cada nivel pueden ser deducidas de las del nivel inferior — si no ahora sí en el futuro—. En consecuencia, bastaría con descubrir las leyes que rigen las partículas



Esquema del reduccionismo radical, en el que las leyes de cada nivel de complejidad se pueden deducir de las del nivel inferior.

elementales para conocer todos los secretos del universo. Curiosamente el reduccionismo tuvo su origen en una frase de Newton, a pesar de que él no habría aceptado las consecuencias que luego se asociaron con la idea. La frase es “Espero que podamos deducir todos los fenómenos naturales de principios mecánicos; porque son muchas las razones que me inclinan a pensar que todo depende de ciertas fuerzas, merced a las cuales las partículas de los cuerpos, por causas hasta ahora desconocidas, se empujan mutuamente llegando a formar figuras naturales o se repelen y se separan unas de otras”. Esta frase fue interpretada por los pensadores mecanicistas en el sentido de que el conocimiento del comportamiento de los constituyentes de la materia, como los quarks y los electrones, permitiría comprender todas las propiedades del mundo, incluyendo los órdenes biológico y social, su interpretación más extremada. Desarrollando esta idea, el gran matemático francés Pierre Simon de Laplace propuso en 1814 su famoso demonio que, por conocer la dinámica newtoniana y el estado del universo, lo sabría todo, “nada le sería incierto y el futuro y el pasado estarían presentes ante sus ojos”. Pero sabemos hoy que Laplace estaba equivocado, a pesar de su enorme genio. Para llegar a esa conclusión tuvo que desprestigiar un pequeño término en sus ecuaciones, en el convencimiento de que se mantendría pequeño. Pero no era así, ese término crecía; era la aparición en escena del efecto mariposa.

Einstein, que era muy reduccionista, expresó claramente este credo en 1918: "El objetivo supremo de los físicos es llegar a leyes elementales y universales, gracias a las que todo el cosmos se puede construir [a partir de sus constituyentes básicos], mediante una pura deducción". Si fuese así, Laplace tendría razón, a pesar de todo. También Weinberg: su teoría final sería una buena idea.

En cambio, el premio Nobel de Física de 1977, Philip Anderson, uno de los más destacados físicos de la materia condensada, se opone frontalmente al reduccionismo epistemológico. En un famoso artículo publicado en 1972 en la famosa revista *Science* con el título "Más es diferente"⁸ lo expresa así “la hipótesis reduccionista no implica una "construccionista". En otras palabras, que la capacidad de reducirlo todo a leyes simples fundamentales no implica la capacidad de reconstruir el universo a partir de esas leyes [lo que quería hacer Einstein]. Incluso afirma Anderson: “Cuanto más nos hablan los físicos de partículas elementales sobre la naturaleza de las leyes fundamentales, menos relevancia parecen tener para los problemas reales del resto de la ciencia, mucho menos para los de la sociedad. La hipótesis construccionista falla al enfrentarse con las dificultades gemelas de la escala y la complejidad”.

⁸ Ph. Anderson, “More is different”, *Science* 177, 393, 1972.

Esta postura de Anderson se debe a su interpretación de las leyes emergentes: cree que cada una de ellas es fundamental en su nivel correspondiente de complejidad, pues no puede deducirse de las del nivel inferior. Así, aunque los átomos y las moléculas estén compuestos por protones, neutrones y electrones, la química no puede ser ni será nunca una pura consecuencia de la física, ni la biología puede serlo sólo de la química, por mucho que hormonas, proteínas o anticuerpos sean especies químicas; la psicología no es pura biología, ni la sociología es reducible a la psicología, ni la economía a la sociología. Las reducciones conseguidas hasta ahora y las que se logren en el futuro serán siempre parciales.

Las propiedades emergentes aparecen al traspasar un nivel de complejidad, en el que interactúan muchos elementos simultáneamente. A partir de un cierto umbral, lo cuantitativo se hace cualitativo: ese es el sentido de la divisa de Anderson "Más es diferente". Si él tiene razón, la idea de Weinberg de teoría final es absurda.

7. Resumen

Importa mucho esta cuestión del fin de la ciencia. Si Weinberg o Horgan estuviese en lo cierto, las consecuencias para el futuro del pensamiento y la cultura serían profundas. Una de las bases de nuestra civilización es el espíritu de aventura en lo desconocido, impulsado por la evidencia de que no lo sabemos todo. Si la ciencia se terminase al modo de Horgan, quedaría mucho menos espacio para ejercer ese espíritu y sentir la emoción intelectual de adentrarse en lo desconocido. Si al modo de Weinberg, no quedaría ninguno. Pero un tercer libro muy reciente demuestra que no es el caso. En "Lo que queda por descubrir", John Maddox que fue editor de la revista Nature durante 23 años, tras pasar revista a muchas grandes cuestiones de cuya solución estamos aún muy lejos, concluye que tenemos ciencia para mucho tiempo. Tras examinar, en un brillante ejercicio de divulgación científica, el estado de la ciencia de hoy, concluye que quedan aún muchos problemas importantes y difíciles de los que sabemos muy poco. O sea que, aunque Maddox no lo dice así de modo explícito, la base fundamental en que se apoyan Weinberg y Horgan (o sea que estamos cerca de la sabiduría total) falla completamente: a la naturaleza le quedan aún muchos ases bajo la manga.

En resumen, parece que a la ciencia le queda aún cuerda para mucho tiempo. Pero, y esto es importante para aventurar cómo será el mundo cultural del futuro, lo que sí se termina es una época de la ciencia, la iniciada en la Segunda Guerra Mundial. Pero esa es otra historia.