

CIENCIA: ¿EL PRINCIPIO DEL FIN?

Carlos Muñoz López

*Profesor del Departamento de Física Teórica
Universidad Autónoma de Madrid*

INTRODUCCIÓN

A punto de acabar el siglo XIX, en 1.894, Michelson, célebre en la historia de la física por el experimento realizado en colaboración con Morley que demostró la inexistencia del éter, impartió una conferencia en la cual dijo que las leyes físicas más importantes ya estaban descubiertas, y que como un físico eminente había observado solo quedaban por hacer mediciones cada vez más precisas que llegasen hasta la sexta cifra decimal (aunque se suele atribuir esta observación a Lord Kelvin no hay ninguna evidencia histórica que lo confirme). Sin embargo, pocos años después surgieron tres grandes revoluciones científicas. En 1.905, Einstein publicó la *Teoría Especial de la Relatividad* (que para más inri tenía su soporte experimental en el experimento de Michelson-Morley), en 1.916 publicó la *Teoría General de la Relatividad* y en los años 20, gracias a los trabajos de Bohr, Heisenberg, Schrödinger y otros, se acabó de formular la *Mecánica Cuántica*. Michelson estaba completamente equivocado.

¿Pecaríamos de nuevo de optimistas si, incluso siendo más prudentes que Michelson, dijésemos cien años más tarde, a punto de acabar el siglo XX, que no hemos llegado todavía al final de la física pero que éste se vislumbra próximo? ¿Seríamos incluso más optimistas que Michelson si extendiésemos esta afirmación al conjunto de la ciencia? Responder a esta última pregunta es precisamente el objetivo de este artículo, pero para lograrlo tendremos que explicar primero lo que queremos decir cuando usamos la palabra ciencia. Esto también nos permitirá aclarar por qué nos calificamos de optimistas al pensar que la ciencia se puede acabar, cuando muchos podrían ver dicho suceso como un auténtico desastre, como el fin del progreso.

El que algo se acabe puede ser calificado de positivo o negativo dependiendo de lo que se ha acabado. Calificar el fin de la ciencia como positivo o negativo no tiene sentido a menos que la dividamos en dos ramas. Nuestro punto de partida será por tanto dividirla en ciencia pura (o básica) y ciencia aplicada. La ciencia pura podemos definirla como la disciplina que explica el mundo físico y natural mediante un número limitado de leyes. Más adelante sostendremos la tesis de que es esta ciencia la que se encuentra en el principio del fin. Es decir, que está cerca de cumplir su objetivo de *entenderlo todo*. Si hace 300 años Newton decía "el inmenso océano de la verdad se extiende, inexplorado, frente a mí", hoy podemos decir que gracias a él y a muchos otros científicos, todas las aguas que quedan por explorar están bien delimitadas y caben en un pequeño estanque. Por eso podemos ser optimistas, porque la meta final de la ciencia pura está próxima. En cuanto a la ciencia aplicada y su pariente próxima, la tecnología, discutiremos con brevedad la idea de que seguirán creciendo de manera exponencial como hasta ahora. Por tanto, que nadie se asuste, el progreso continúa.

CIENCIA APLICADA Y TECNOLOGÍA

La tecnología surgió en la historia de la humanidad mucho antes que la ciencia. Un ejemplo muy interesante a este respecto es el de la agricultura, que empezó a desarrollarse hace aproximadamente 9.000 años. El hecho de que su correcto funcionamiento necesitase probablemente

de siglos de paciente observación y experimentación es realmente impresionante. Sin embargo, se basaba en el aprendizaje y no parece que hubiese ninguna teoría al respecto. Nada que intentase explicar la razón de su funcionamiento. Simplemente funcionaba. Lo mismo puede decirse de la metalurgia, los inventos chinos como la pólvora o la brújula, la construcción de las catedrales, etc. La máquina de vapor es un ejemplo particularmente interesante porque no solo no debe su origen a la ciencia sino que, por el contrario, contribuyó apreciablemente al desarrollo de ésta, en concreto de la termodinámica.

En la segunda mitad del siglo XIX la tendencia empezó a cambiar. La ciencia comenzó a colaborar con la tecnología cuando influyó por ejemplo en la producción de energía eléctrica. Otro caso muy interesante es la invención de la comunicación radiofónica a partir de las ondas electromagnéticas. Éstas eran una predicción del trabajo puramente teórico de Maxwell, concluido hacia 1.861, que unificaba la electricidad con el magnetismo en las llamadas Ecuaciones del Electromagnetismo (éstas constituyen la primera unificación de fuerzas en la historia de la física). El trabajo de varios científicos demostrando la "realidad" de las ondas electromagnéticas, culminó con su explotación comercial debido a la invención de Marconi en 1.901. Es bien conocida la historia de la energía nuclear, que tiene su origen en la relación entre masa y energía, $E=mc^2$, obtenida por Einstein en su trabajo teórico de 1.907.

A punto de acabar el siglo XX los ejemplos que se pueden poner de conexión ciencia-tecnología son innumerables: el avance en la agricultura a principios del siglo debido a la síntesis del amoníaco, básico en la mayoría de los fertilizantes nitrogenados; la expansión del plástico a partir de la segunda mitad del siglo debida a las investigaciones sobre la polimerización, es decir, la creación de macromoléculas; el nacimiento de los ordenadores de segunda generación debido a la invención de los transistores, etc. Estos últimos ejemplos de investigaciones científicas dando lugar a avances tecnológicos corresponden de hecho a ciencia aplicada, y nos sirven por tanto para aclarar la diferencia entre ésta y la ciencia pura.

Podríamos usar el lenguaje del mercado para ilustrar de manera sencilla esta diferencia. La ciencia pura *nunca* da lugar a patentes. No se puede patentar la fórmula $E=mc^2$ ó la ley de la gravitación. Pero creo que es más canónico decir que la ciencia aplicada, hoy en día, toma como base de partida las leyes de la naturaleza descubiertas por la ciencia pura y se embarca en gran medida en la creación de objetos que *jamás* existieron anteriormente. Materiales superconductores, nuevas moléculas, ordenadores cada vez más potentes, incluso seres vivos modificados genéticamente (auténticas quimeras). Precisamente este enfoque hacia la producción de objetos y seres que no existían en el Universo, nos lleva a pensar que la ciencia aplicada y como consecuencia la tecnología seguirán creciendo de manera exponencial. Parece verdaderamente difícil vislumbrar sus límites.

Los recientes avances habidos en el campo de la biología molecular, y muchos otros que se esperan en un futuro próximo, son ejemplos contundentes de lo que afirmamos. Desde que en 1953 Crick y Watson descubrieron la estructura del ADN, el estudio de los genes y sus aplicaciones ha experimentado una revolución. La aparición de la ingeniería genética hacia 1.974 fue el momento clave, ya que permitió intervenir en el ADN de las células y alterar la constitución genética de animales y plantas. En principio se podría por ejemplo insertar genes en células humanas para corregir defectos genéticos. En relación con esta terapia genética se encuentra en marcha el proyecto "genoma humano" que permitirá clasificar todos los genes de nuestros cromosomas y saber para que sirve cada uno de ellos. Y hay un sin fin de posibilidades más o menos desarrolladas, como la creación de plantas y animales transgénicos, la clonación, la ingeniería de tejidos. Está claro que a la biología todavía le queda un largo camino por recorrer si se la compara con la física o la química.

Es difícil predecir que otras revoluciones científico-tecnológicas nos deparará el futuro, pero hay dos avances radicales que si se consiguiesen llevar a cabo cambiarían nuestra existencia. Usando

técnicas de ingeniería genética se podría en principio modificar las características de las personas. Podríamos ser más inteligentes, como parece haberse conseguido ya en ratones, más fuertes e incluso vivir más tiempo. Con respecto a esta última posibilidad, se están empezando a estudiar seriamente las causas del envejecimiento celular y, ¿por qué no soñar que esos estudios tendrán éxito y podremos vivir indefinidamente?, ¿por qué no soñar que en el futuro los seres humanos seremos prácticamente inmortales? El segundo avance, más probable y realista que el anterior, al menos a medio plazo, sería la consecución de una fuente de energía inagotable y barata a partir del proceso de fusión nuclear. Para conseguirlo existen ya varios prototipos de reactores en experimentación. Su éxito, reproduciendo de forma controlada los procesos que generan la energía en las estrellas, permitiría usar fundamentalmente agua como combustible además de no generar los peligrosos residuos radiactivos de las centrales de fisión nuclear convencionales.

CIENCIA PURA

¿Qué sucederá con la ciencia pura?, ¿seguirá creciendo de manera exponencial como parece probable que lo hagan la ciencia aplicada y la tecnología? En lo que sigue trataremos de argüir que lo que está sucediendo es precisamente lo contrario, y que aunque parezca paradójico, debido a lo bien que lo ha hecho la ciencia. Hagamos primero un poco de historia.

La ciencia, a diferencia de la tecnología, tuvo su origen solo una vez en la historia, concretamente en Grecia. Incluso se puede otorgar la categoría de primer científico de la historia a un personaje concreto, al filósofo Tales. Tales de Mileto planteó la pregunta ¿de qué está hecho el mundo? y trató de encontrar una respuesta que no dependiese de los dioses o los mitos que existían en aquel momento. Hacia el año 580 a. C. halló su respuesta. Dado que el agua se puede encontrar en los tres estados de la materia, líquido, sólido y gaseoso, concluyó sorprendentemente que toda la materia estaba hecha de agua. Desde luego ahora sabemos que su razonamiento era erróneo, pero eso no es lo importante, lo realmente importante, lo verdaderamente crucial, es que Tales buscaba de manera racional, por primera vez en la historia, un principio unificador que explicase la naturaleza, y además que esa explicación sirviese de manera universal para todos los fenómenos. Esencialmente, ese sigue siendo aún ahora, casi 2.600 años más tarde, el espíritu que guía a la ciencia pura. La cantidad de fenómenos que ha conseguido explicar de esa manera es impresionante. Más impresionante si cabe si tenemos en cuenta que desde la época griega hasta el renacimiento la ciencia no avanzó prácticamente nada. Desde Arquímedes en el siglo III a. C. hasta Galileo pasaron casi 1.800 años.

En esta aventura el papel de las matemáticas ha sido fundamental. Gracias a ellas las ideas científicas pueden expresarse de manera cuantitativa. En cierto sentido no deja de ser sorprendente que el lenguaje de las matemáticas sirva para explicar todo tipo de fenómenos.

- **¿Qué sabemos?**

Podemos describir a grandes rasgos lo que la ciencia ha descubierto desde que Newton constataba que el océano de la verdad era inmenso y estaba inexplorado.

En cuanto al estudio de la vida sabemos, por ejemplo, que tanto los seres humanos como los chimpancés descendemos de antepasados comunes que vivieron hace aproximadamente 5 millones de años; que éstos a su vez surgieron después de un largo camino evolutivo que empezó hace 3.800 millones de años con la aparición de la primera forma de vida en la Tierra, que fue unicelular; que la unidad básica de cada organismo es por tanto la célula; que el comportamiento de la célula se puede explicar en términos moleculares; que la molécula fundamental que contiene el material genético base de la herencia es el ADN.

En cuanto a nuestra situación en el Universo, la ciencia ha hecho también un viaje desde lo más grande a lo más pequeño. Sabemos que el Universo fue creado hace aproximadamente 15.000 millones de años en una gigantesca explosión y que, como consecuencia de ella, se encuentra todavía en expansión; que contiene cientos de miles de millones de galaxias, que a su vez contienen cientos de miles de millones de estrellas; que en la galaxia espiral de la Vía Láctea se formó hace 4.600 millones de años el sistema solar; que éste está formado por una estrella que llamamos el Sol alrededor de la cual giran nueve planetas, uno de los cuales es la Tierra.

Sabemos que, en definitiva, todo está hecho de moléculas, átomos, partículas.

Todos estos descubrimientos han llevado a algunos a proclamar que la ciencia pura ha llegado a su fin. Creo que podemos estar de acuerdo en que esencialmente está más cerca de haber llegado a su fin que de encontrarse ante un largo camino. Ahora bien, ¿sería un desastre que se hubiese acabado la ciencia pura? Desde luego, para un investigador en esa rama de la ciencia, la perspectiva puede resultar terriblemente aburrida. Todo estaría ya hecho, ninguna teoría nueva haría falta. Incluso en el aspecto docente, los cursos de doctorado impartidos en las Universidades en esas materias, se convertirían prácticamente en enseñanza de historia de la ciencia mas que en la enseñanza de ciencia en progreso. El temor que Crick confió a su madre cuando era un muchacho, de que *no quedase ya nada por descubrir cuando tuviese la edad suficiente para dedicarse a la investigación*, puede estar ahora más cerca de la realidad. Pero dejando aparte las angustias de los investigadores, está claro que tal hecho sería una demostración absoluta del poder de la ciencia. Del éxito completo. La ciencia habría alcanzado el objetivo final para el que fue creada: entenderlo todo.

Es bien cierto que influidos por los sorprendentes acontecimientos que se han producido durante este siglo—desde guerras mundiales hasta la creación organismos internacionales de paz, desde el alzamiento del comunismo hasta su caída, o incluso desde la desaparición del arte figurativo hasta la aparición del arte abstracto—varios autores se han aventurado a proclamar el fin muchas cosas. Recordemos "el fin de la historia" de Fukuyama o "el fin del arte" de Danto. Estén en lo cierto o equivocados, no se puede decir que proclamando el fin de la ciencia se esté entrando en la misma dinámica. Mientras que predecir lo que sucederá en el futuro con el arte o con la estructura social y política de los seres humanos es un ejercicio arriesgado y en cierto sentido subjetivo, predecir el futuro de la ciencia (pura) es un ejercicio objetivo ya que su meta está bien delimitada. Las leyes de la naturaleza ya descubiertas o por descubrir son unas concretas y determinadas. Su número es finito. Una vez que se hayan descubierto todas, la tarea estará concluida. Es algo semejante a la exploración de Marte. Es difícil y complicada. Hay que enviar naves espaciales para descubrir todos sus accidentes geográficos, pero una vez que se han localizado uno a uno, por ejemplo, todos sus volcanes, esa tarea se ha terminado. No se puede descubrir dos veces el mismo volcán. Asimismo, no se puede descubrir dos veces la ley de la gravitación universal. Una vez que Newton la descubrió, esa tarea está acabada. Es un escollo menos en la búsqueda de las leyes de la naturaleza.

Aunque aparentemente claro, el concepto "leyes" puede resultar a veces confuso. Da la impresión de que uno siempre puede preguntarse ¿y por qué existen las leyes?, y que tal pregunta no podrá ser respondida. Es decir, que la ciencia no puede explicarlo todo. El ejemplo de la ley de la gravitación es interesante en este sentido. Newton publicó su descubrimiento en 1687 en sus "Principios matemáticos de la filosofía natural". Los datos observacionales existentes sobre los movimientos planetarios se podían explicar si *dos cuerpos se atraen con una fuerza inversamente proporcional al cuadrado de la distancia que los separa*. Pero Newton fue más allá y generalizó esta teoría acerca del Sol y los planetas a cualquier objeto en el Universo. Todos se atraen unos a otros gravitacionalmente. Sin embargo, *desconocía* por completo la razón que llevaba a dos objetos a atraerse mutuamente. Algo semejante le sucedió a Darwin cuando publicó en 1859 "Sobre el origen de las especies por medio de la selección natural o la conservación de las razas favorecidas en su lucha por la vida", su teoría de la evolución mediante la selección natural. Según Darwin *las especies varían*

y solamente las mejores adaptadas al medio sobreviven. También, como Newton, tuvo la genialidad de generalizar su resultado a todas las especies, incluyendo al hombre. Sin embargo, al igual que Newton, *no* entendía el origen de la variación en las especies. De hecho se defendía en el libro de los que atacaban la totalidad de su teoría haciendo hincapié en ese punto débil, poniendo el ejemplo de la ley de la gravedad. Decía que aunque nadie podía explicar cuál era la esencia de la atracción de la gravedad, tampoco nadie se oponía a seguir sus consecuencias. No deja de ser curioso que estas dos obras cumbres de la ciencia fuesen publicadas mas de 20 años después de haber hecho sus autores los descubrimientos y casi a regañadientes. A Newton tuvo que convencerle su amigo Halley, mientras que a Darwin le acabó de convencer el manuscrito que le envió Wallace, donde exponía ideas semejantes a las suyas.

La explicación del origen de la variación en las especies tuvo que esperar al desarrollo de la genética. Hoy en día sabemos que la variación se debe a la modificación de la naturaleza del ADN debido a ciertos procesos, como por ejemplo mutaciones originadas por errores en el momento de la replicación o daños provocados por factores ambientales. Es decir a causas aleatorias.

La explicación completa de por que dos cuerpos se atraen tendrá que esperar más tiempo. Einstein, en su Teoría General de la Relatividad nos explicó que los objetos masivos curvan el espacio que los rodea, y que por tanto para explicar el hecho de que dos objetos se atraigan no hace falta introducir el concepto de fuerza Newtoniana. Los objetos están obligados a seguir las trayectorias observadas debido a que el espacio está curvado. En vez de seguir líneas rectas siguen curvas llamadas geodésicas. Todos los resultados experimentales, desde la curvatura en la trayectoria de un fotón emitido por una estrella al pasar cerca del Sol, hasta el avance en el perihelio de Mercurio o la expansión del Universo, confirman la teoría de Einstein.

Sin embargo, hoy en día sabemos que las fuerzas fundamentales (no gravitacionales) de la naturaleza son de origen cuántico y tienen asociadas por tanto unos "cuantos" fundamentales que las transmiten. Por ejemplo, al igual que vemos a dos patinadores sobre hielo, que llevan consigo unas cuantas bolas de nieve y se acercan en paralelo uno a otro, desviarse de su trayectoria, separándose, al tirar uno una bola y recogerla el otro, "vemos" a dos electrones que se repelen debido al intercambio de fotones entre ellos. De la misma forma, uno esperaría que la Teoría General de la Relatividad siendo una teoría clásica debería ser cuantizada. En una teoría cuántica de la gravedad el concepto de curvatura del espacio-tiempo seguiría siendo válido, pero además el propio espacio-tiempo estaría cuantizado. Los "cuantos" asociados son los llamados *gravitones*, los equivalentes a los fotones en el electromagnetismo, y transmitirían la información entre los distintos objetos. Desgraciadamente, no se ha podido conseguir todavía una teoría cuántica de la gravedad consistente desde el punto de vista matemático.

En cualquier caso vemos como la ciencia puede en principio explicar el origen de las leyes. Es cierto que algunos autores argumentan que los propios axiomas de cualquier teoría (aunque ésta sea una teoría final de la materia como la que expondremos en breve) no pueden ser explicados y que por tanto siempre habrá un último ¿por qué? que no podrá ser aclarado. Responder en detalle a esta disquisición metafísica se saldría de los límites de esta breve discusión, pero basándonos en argumentos similares a los anteriores, y en la autoconsistencia interna que se le debe exigir a cualquier teoría, uno esperaría que no existiese tal problema.

También podría argüirse en contra del final de la ciencia pura, la posibilidad de que alguno de los numerosos descubrimientos que se están haciendo en el campo de la ciencia aplicada no pueda ser explicado por las leyes ya existentes. Esto daría lugar a su modificación o incluso a nuevas leyes que pudiesen explicar estos nuevos descubrimientos. Lo cierto es que está sucediendo exactamente lo contrario. Todos los nuevos descubrimientos confirman que la comprensión que tenemos actualmente de la naturaleza es esencialmente correcta, que no habrá cambios en los paradigmas actuales de la

ciencia. Los transistores, el láser, la resonancia magnética nuclear, los fulerenos, la ingeniería genética, no hacen más que acrecentar nuestra confianza en las leyes de la física, la química, la biología.

Resumamos las conclusiones que hemos obtenido hasta el momento. Hemos visto a grandes rasgos el nivel actual del conocimiento científico. Se puede decir, sin ningún lugar a dudas, que es impresionante. Se conoce desde lo más grande hasta lo más pequeño, desde el Universo hasta los átomos, desde los seres vivos hasta las células. Pero para dar una opinión, sin miedo al error, de hasta que punto la ciencia se encuentra próxima a su fin, deberíamos conocer las *grandes* preguntas que quedan todavía por responder. En lo que sigue vamos a tratar de discutir precisamente este asunto, pidiendo de antemano disculpas al lector especializado por los posibles errores u omisiones que pueda encontrar. No solo es difícil dominar sino discutir en su totalidad, en un breve artículo, un tema tan amplio como es la ciencia.

- **¿Que nos falta por saber?**

Afortunadamente, disponemos de una ventaja crucial con respecto a Michelson, porque debido al avance de la ciencia durante este siglo *sí* que sabemos cuales son las preguntas que faltan por responder, y además está suficientemente arraigada en nuestra mente la idea de que *toda* pregunta puede ser respondida.

En el campo de la física faltan fundamentalmente dos grandes cuestiones por resolver, encontrar la teoría que unifique todas las fuerzas fundamentales de la naturaleza y la teoría que explique el origen del Universo. Como de ambas hablaremos más adelante, cuando discutamos en detalle un ejemplo concreto de como se ha desarrollado la ciencia, no haremos aquí más comentarios al respecto.

En cuanto a la química puede decirse que sus leyes últimas se conocen y que en ese sentido es una ciencia que ha llegado a su meta. Esencialmente, todas las interacciones químicas se pueden explicar usando la Mecánica Cuántica.

La biología tiene tres cuestiones claves por responder. El origen de la vida es una de ellas. Miller llevo a cabo en 1953 un histórico experimento que afianzó la idea de que de la "sopa primordial" pudo surgir la vida. Para ello mezcló en un matraz metano, amoníaco e hidrógeno, junto con agua, tratando de reproducir las condiciones existentes en la Tierra hace 4.000 millones de años. Con unos electrodos simuló una tormenta eléctrica y al cabo de varios días analizó el resultado. Para su regocijo se encontró con que se habían formado aminoácidos que son una de las claves para la aparición de la vida. Sin embargo, casi 50 años más tarde, el origen de la vida sigue sin haberse descifrado por completo, sigue sin saberse con seguridad cuál fue la molécula original, con potencial para autorreplicarse, que inició la evolución. Una segunda cuestión es cómo a partir de una sola célula fertilizada se puede desarrollar un organismo multicelular cómo un ratón o un ser humano. Por último, falta por entender el funcionamiento del cerebro.

Este último es un campo todavía en sus inicios y que envuelve a distintas ramas de la ciencia, y no sólo a la biología. Baste con resaltar el hecho de que se trata no sólo de entender como el cerebro da órdenes al resto de nuestro cuerpo, sino también de comprender como surge la inteligencia o la consciencia. Incluso se ha especulado con la posibilidad de que la Mecánica Cuántica desempeñe un papel importante en la explicación del funcionamiento de la mente. Un conocimiento detallado de dicho funcionamiento también podría producir un avance apreciable de las ciencias psicológicas y sociales. Con respecto a la crítica de que intentar reducir la consciencia a física o química es imposible, recordemos la sentencia de Darwin: "¿Por qué es más maravilloso que el pensamiento sea una secreción del cerebro que el hecho de que la gravedad sea una propiedad de la materia?".

La inteligencia artificial es un campo conectado con el anterior que todavía se debate entre los partidarios y los detractores de la hipótesis de que en el futuro será posible crear máquinas que piensen.

Por último, nada mejor que discutir en detalle un caso concreto para acabar de comprender el alcance real del desarrollo científico, y el hecho de que la ciencia pura ha de llegar a su fin. Uno de los ejemplos más impresionantes al respecto es, sin ningún lugar a dudas, el nivel actual del conocimiento de la materia.

- **Un ejemplo: el conocimiento de la materia**

No creo que nadie se asombre hoy en día de leer que toda la materia que vemos en el Universo está formada por *átomos*. De hecho esto se conoce desde el año 1808 cuando el químico inglés Dalton publicó su moderna teoría atómica de la materia. Él creía que los átomos eran indivisibles y por eso los llamo "atoms", de la palabra griega que significa indivisible. De esta forma homenajeaba al filósofo griego Demócrito quien, adoptando y extendiendo las ideas de su maestro Leucipo, propuso la primera teoría atómica. Demócrito afirmaba, hacia el año 440 a. C., que la materia estaba compuesta de partículas tan pequeñas que nada más pequeño se podía concebir. Naturalmente, ni Leucipo ni Demócrito tenían ninguna evidencia experimental que pudiese confirmar su teoría, siendo ésta rechazada de manera tajante por la mayor parte de los filósofos de su época. Como consecuencia, su idea permaneció arrinconada e inútil durante mas de 2000 años.

A comienzos del presente siglo, durante los años treinta, los físicos demostraron que, de hecho, los átomos no son indivisibles. Cada átomo está formado por un pequeño núcleo central compuesto de dos clases de partículas llamadas *protones* y *neutrones*, con otras partículas llamadas *electrones* moviéndose alrededor del núcleo. Una vez que la cuestión ¿de qué están hechas las cosas? fue respondida, gracias al trabajo iniciado de manera puramente teórica por un filósofo y continuado de manera teórica y experimental por químicos y físicos, el trabajo de la ciencia estaba aparentemente terminado. Sin embargo los nuevos descubrimientos fueron en realidad el comienzo de otros mucho más profundos.

Numerosas investigaciones comenzaron a desarrollarse para determinar con seguridad si los protones, los neutrones y los electrones eran los bloques fundamentales de la materia o si había otras partículas más elementales que los formaban. El resultado de esa investigación, finalizada en los años setenta, determinó que los protones y los neutrones no son elementales sino que están formados a su vez por otras partículas llamadas "*quarks*". Por tanto las ideas actuales sobre la física del mundo subatómico establecen que los quarks y los electrones son las partículas elementales que forman los átomos. Son elementales en el sentido propuesto por Demócrito: nada más pequeño es concebible.

Los científicos no se han limitado simplemente a descubrir y clasificar las partículas elementales, sino también a explicar que es lo que las mantiene unidas formando todas las cosas: átomos, moléculas, materia ordinaria como esta hoja de papel, seres vivos como nosotros, estrellas, galaxias-el propio Universo. Aparentemente, solo cuatro fuerzas (o interacciones) fundamentales entre las partículas-nuclear fuerte, nuclear débil, electromagnética y gravitacional-son suficientes para dar cuenta de todas las estructuras existentes en el Universo. La fuerza nuclear fuerte mantiene unidos a los quarks, por medio del intercambio de otro tipo de partículas elementales llamadas *gluones*, dando lugar a los protones y los neutrones. Asimismo, es la fuerza responsable de mantener unidos a los protones y neutrones formando el núcleo del átomo. La fuerza electromagnética mantiene unidos el núcleo atómico y los electrones, por medio del intercambio de *fotones*, formando los átomos. La fuerza nuclear débil produce la llamada desintegración beta del núcleo-la mayor parte de substancias radiactivas usadas en medicina y tecnología tienen este tipo de radiactividad-a través del intercambio de las partículas elementales llamadas *W* y *Z*. Otras partículas elementales llamadas *neutrinos* también participan en la interacción nuclear débil.

El marco teórico en el cual se engloban estas tres interacciones es el llamado Modelo Estándar de las partículas elementales. Se basa en la Teoría Cuántica de Campos que es a su vez la síntesis de la Mecánica Cuántica y la Teoría Especial de la Relatividad. El Modelo Estándar junto con la teoría BCS de la superconductividad pueden considerarse los grandes logros científicos de la segunda mitad del siglo XX. La validez de la teoría BCS no solo acabó de confirmar la Mecánica Cuántica (dejando aparte cuestiones interpretativas) en la cual se basaba, sino que su estudio posterior dejó al descubierto la importancia del concepto de "ruptura de simetría", un concepto que de hecho juega un papel clave en la formulación del Modelo Estándar. Una nueva partícula elemental llamada partícula de Higgs debería aparecer asociada a este fenómeno de ruptura de simetría. Por último es importante mencionar, dado el concepto de objeto extenso que introduciremos más adelante, que en el Modelo Estándar se usa también la hipótesis de que todas las partículas elementales son puntuales, es decir que no tienen ninguna estructura interna.

Aunque el estudio de la materia comenzó con las especulaciones de Demócrito, afortunadamente casi 2500 años más tarde esta nueva teoría acerca de la estructura de la materia, el Modelo Estándar, puede verificarse experimentalmente. En los años sesenta se construyeron máquinas enormes para acelerar las partículas hasta velocidades próximas a la velocidad de la luz (cerca de 300.000 kilómetros por segundo) y así poder estudiar sus propiedades. Hoy en día, el acelerador de partículas más grande del mundo, construido por varios países europeos, se encuentra situado en Ginebra. Un túnel de 27 kilómetros de circunferencia contiene el acelerador en el cual se hacen mover las partículas en direcciones opuestas y chocar en cuatro puntos especiales. Detectores colocados en esos puntos "midien" las interacciones, detectan las nuevas partículas producidas en el choque y, en una palabra, *confirman* el entramado teórico expuesto anteriormente. Una nueva máquina más potente se encuentra en construcción y con ella se espera, entre otras cosas, confirmar experimentalmente la existencia de la partícula de Higgs. Este hecho no solo "finalizaría" el modelo estándar sino que daría más solidez al modelo inflacionario cosmológico, ya que éste se basa en la estructura del vacío implícita en el mecanismo de ruptura de simetría.

Llegados a este punto, creo que el lector debería estar de acuerdo en que el poder unificador de la ciencia es impresionante. Todos los fenómenos que se observan en el Universo tienen su origen en un conjunto pequeño de partículas elementales y nada más que cuatro fuerzas-siendo los propios "mensajeros" de las fuerzas también partículas elementales. Para evitar interpretaciones erróneas, quizá sea conveniente explicar que queremos decir con la expresión "todos los fenómenos". Un ejemplo sencillo pero muy clarificador es el usado por Weinberg, uno de los científicos que contribuyó de manera sobresaliente al descubrimiento del Modelo Estándar. Conociendo las propiedades de las moléculas de agua, con la ayuda de un ordenador podríamos en principio predecir como se iba a comportar cada molécula en un vaso de agua. En la práctica sabemos que tal cosa es imposible, debido a que la potencia de cálculo del ordenador que tendríamos que usar debería ser gigantesca. Pero aunque fuese posible, ningún científico perdería su tiempo en hacerlo porque las propiedades que realmente nos interesan del agua, tales como su temperatura o entropía, son descritas de manera sencilla por la termodinámica. Sin embargo, aunque ésta estudia el calor sin necesidad de reducirlo a las propiedades de las moléculas o las partículas elementales, nadie duda que la termodinámica *es como es* debido precisamente a esas propiedades.

Teniendo en cuenta nuestra discusión anterior, ¿se podría decir que hemos llegado al final de la aventura?, ¿Que conocemos ya esencialmente todos los entresijos de la materia? Muchos científicos creen que la respuesta ha de ser negativa, hasta que no se consiga una unificación más completa. La teoría que la llevase a cabo debería unificar todas las fuerzas y las partículas de la naturaleza en una descripción común.

En los últimos años la teoría de *cuerdas*, en cuyo contexto una teoría cuántica de la gravedad parece factible, ha emergido como la mejor candidata para llevar a cabo el objetivo de la unificación. En esta teoría se sigue usando como base, al igual que en el Modelo Estándar, la Mecánica Cuántica y la Relatividad, pero se modifica la hipótesis de que las partículas puntuales son los objetos fundamentales. El objeto fundamental pasa a ser extenso, una cuerda de longitud extremadamente pequeña (alrededor de 10^{-33} centímetros), y el mundo resulta estar hecho nada más que de cuerdas. En una visión simplificada, de la misma manera que la cuerda de un violín unifica los tonos musicales, una cuerda fundamental unifica las distintas fuerzas y partículas de la naturaleza. Las notas musicales no son fundamentales, surgen de las cuerdas del violín. Las fuerzas y partículas no son fundamentales, son simplemente los distintos modos de vibración de una cuerda fundamental. Aunque la belleza y la elegancia de la teoría de cuerdas es notable, desgraciadamente, la esencia de la teoría no se comprende bien. Harán falta todavía años de investigación antes de establecer si es realmente la teoría final de la materia.

Hemos visto por tanto a lo largo de este recorrido de casi 2.500 años como, a pesar de ser muchas las cuestiones resueltas acerca de la estructura de la materia, todavía quedan algunas que están abiertas. Por ejemplo, una teoría cuántica consistente de la gravedad o incluso una más ambiciosa teoría de unificación final. Pero lo importante es que se sabe claramente que es lo que queda por resolver. Teniendo en cuenta la evolución de la ciencia pura en este siglo en cuanto a su capacidad para *explicar* los fenómenos físicos, creo que se puede ser francamente optimista acerca de su resolución.

Incluso la última cuestión que la ciencia debería resolver para poder decir que verdaderamente ha alcanzado su meta final, el origen del Universo, está ya empezando a ser analizada seriamente. Se sabe desde 1929, gracias a las observaciones astronómicas de Hubble, que el Universo está en expansión. También se ha confirmado, con la detección de la radiación cósmica de fondo en 1964 por Penzias y Wilson, la teoría del "big bang" que afirma que dicha expansión tuvo su comienzo hace aproximadamente 15.000 millones de años debido a una gigantesca explosión.

Sin embargo, hasta el principio de los años ochenta, la ciencia consideraba más allá de sus posibilidades el explicar la causa de ese comienzo o dicho con otras palabras, el responder a la pregunta: ¿por qué se creó el Universo? Para darnos una idea de las dificultades inherentes a este análisis, hemos de fijarnos simplemente en el hecho de que las leyes de la física describen la evolución seguida por un sistema a partir de unas condiciones iniciales. Pero si se quiere explicar el origen del Universo hemos de exigir que la teoría de cuenta de las propias condiciones iniciales. A pesar de todas las dificultades, desde esa fecha hasta ahora, Hartle, Hawking, Vilenkin, Linde y otros científicos han propuesto varias hipótesis tratando de encontrar esa explicación. Desde luego que todas ellas no dejan de ser puras especulaciones, como las de Demócrito en su momento, hasta que se tenga una teoría cuántica de la gravedad que sea consistente-dado que el Universo debió comenzar con una enorme curvatura espacio-temporal, los efectos gravitacionales cuánticos debieron ser muy importantes. Pero en cualquier caso, el hecho contundente es que es factible analizar de manera cuantitativa el origen del Universo y por tanto quizá conseguir explicarlo en un futuro más o menos próximo.

CONCLUSIÓN

Creo que la discusión anterior resume bastante bien el espíritu con que ha sido escrito este artículo. La ciencia ha funcionado tan bien a lo largo de la historia de la humanidad, que cada vez quedan menos cuestiones relevantes para ser respondidas. Además, las que quedan se sabe cuáles son, y por tanto se pueden atacar. ¿Por qué no apostar por su resolución antes de que acabe el siglo XXI? No es tan descabellado si tenemos en cuenta la evolución de la ciencia durante el siglo actual. En cualquier caso, se tarde más o menos tiempo, todas las preguntas que quedan se podrán responder y esto marcará el fin de la ciencia pura. Su tarea estará terminada.

BIBLIOGRAFÍA

Horgan, J. (1996): *The End of Science*, Addison-Wesley Publishing Co.

Redhead, M. (1995): *From Physics to Metaphysics*, Cambridge University Press.

Schweber, S.S. (1997): *The Metaphysics of Science at the End of a Heroic Age*, en el libro *Experimental Metaphysics*, pags. 171-198, Kluwer Academic Publishers, Great Britain, editado por R.S. Cohen et al.

Stent, G.G. (1969): *The Coming of the Golden Age: A View of the End of Progress*, Natural History Press, Garden City, N.Y.

Weinberg, S. (1987): *Towards the Final Laws of Physics*, en el libro *Elementary Particles and the Laws of Physics*, The 1986 Dirac Memorial Lectures, págs. 61-110, Cambridge University Press.

Wolpert, L. (1992): *The Unnatural Nature of Science*, Faber and Faber Limited, Londres, edición española de Acento Editorial, Madrid (1994).