

La percepción jerárquica de la realidad

CARLOS SÁNCHEZ DEL RÍO
(Universidad Complutense)

1. Introducción

El mundo que nos rodea y del cual formamos parte es muy complicado y misterioso. Pensadores de todos los tiempos han pretendido conseguir una imagen cabal de la realidad. Normalmente los filósofos han procedido por vía especulativa partiendo de los datos empíricos disponibles en su tiempo. Con el advenimiento de la ciencia moderna —que identificamos arbitrariamente con los nombres de Galileo y Francis Bacon— los datos empíricos más relevantes proceden de ella y por eso la filosofía ha quedado influida por la ciencia. Recuérdese la influencia de Newton sobre Kant.

El gran desarrollo de la ciencia ha tenido lugar durante los dos últimos siglos a través de un proceso de especialización que hace difícil interpretar sus resultados dentro de un esquema filosófico. Y ello porque a pesar de la eclosión científica en curso, la ciencia sigue siendo la parte ignorada de la cultura. Es sorprendente el desconocimiento que tienen de la ciencia tanto las personas cultas normales como los intelectuales o pensadores de oficio. Hay sin embargo poderosas razones que justifican dicho desconocimiento.

Empecemos por las personas normales, incluso las razonablemente cultas. Confunden la ciencia, que es el estudio de los fenómenos naturales, con la técnica, que es la aplicación de los conocimientos a la consecución de fines útiles. Volveré más adelante sobre esta distinción, sin la cual no se entiende

nada. Pero veamos de momento los resultados de esta confusión, que son curiosamente contradictorios, porque conducen en unos casos a la admiración y en otros al rechazo del progreso técnico y de la ciencia que lo sustenta cada vez más. Provocan admiración la eliminación del hambre y la lucha efectiva contra muchas enfermedades en amplias zonas del planeta. O la facilidad de las comunicaciones y la disponibilidad de muchas comodidades en los países industrializados. En cambio se rechaza la ciencia y la técnica cuando se mira a la industria del armamento, al impacto negativo sobre el medio ambiente o a posibles aplicaciones de la biología moderna. Ambas actitudes son comprensibles y las compartimos también los científicos, pero oscurecen el valor cultural de la ciencia en cuanto a su contribución a la percepción de la realidad.

El desconocimiento de la ciencia por parte de los intelectuales también tiene sus motivos. En primer lugar porque no la entienden. La creciente especialización a que antes he aludido ha venido acompañada de un lenguaje crítico que sólo comprenden los iniciados. No sólo abundan neologismos, sino que —y esto es lo peor— palabras de uso corriente han adquirido un significado técnico incomprensible para los no especialistas. Incluso los científicos que cultivan la misma disciplina, en sentido amplio, son incapaces de entender a los especialistas de una rama distinta de la propia. Además muchos investigadores de oficio se desentienden completamente de cualquier inquietud intelectual ajena a su propio quehacer. No sólo eso, sino que desprecian lo que ignoran. No tiene nada de extraño que, en estas condiciones, los filósofos de visión amplia vean a tales investigadores no como científicos, ni siquiera como especialistas, sino como simples artesanos de restringidas áreas de trabajo. Hay que reconocer que los científicos con inquietud intelectual profunda son escasos y normalmente no dan a conocer sus pensamientos por temor a indisponerse con sus colegas de mente más limitada. También hay casos de científicos de renombre que escriben libros oscuros e ininteligibles, pero que se venden bien gracias a una acertada política comercial. Por último conviene mencionar a los divulgadores profesionales; muchos dan como cierto lo que son sólo hipótesis de trabajo y, como verdades absolutas, ciertas afirmaciones que pierden su validez fuera del contexto en el que se expusieron.

En resumen, y repitiendo lo ya escrito, la ciencia es la parte ignorada de nuestra cultura. Y sin embargo la ciencia (o las ciencias, porque son muchas) tienen algo que decir respecto a la realidad. Ciertamente la ciencia no es la única vía de acceso a la realidad. Y por eso la honradez intelectual obliga, en primer lugar, a rechazar de plano el cientificismo. El cientificismo es una ideología según la cual la ciencia explica todo desde el origen del universo hasta nuestros sentimientos más íntimos; según esta curiosa doctrina los más grandes pensadores de todos los tiempos se equivocaron, porque las pregun-

tas sin respuesta científica no tienen sentido. En realidad, los defensores de esta ideología lo que quieren decir es que ciertas preguntas están prohibidas.

Yo entiendo que ninguna pregunta está prohibida. Pero para aproximarnos con probabilidad de acierto a las respuestas adecuadas no puede ignorarse nada que sepamos, aunque sea imperfectamente. Y en cuanto a nuestra visión del mundo, las ciencias tienen mucho que decir. En este ensayo me propongo analizar aspectos gnoseológicos de las diversas ciencias, desde la matemática hasta la psicología, para concluir con una propuesta que me parece razonable: la realidad es tan compleja que es imposible reducirla a un esquema sencillo. En cambio, una visión jerárquica de la realidad me parece la mejor aproximación a un misterio que probablemente no desvelaremos nunca.

Antes de seguir adelante procede una advertencia. Soy científico de formación y, más concretamente, mi especialidad es la física. Creo entender algo de otras disciplinas científicas y tengo afición a pensar, es decir, a filosofar. Ruego a los filósofos de oficio que tengan conmigo la misma benevolencia con que yo leo algunos de sus escritos relacionados con temas científicos.

2. La realidad

Para llevar a cabo el programa anunciado en la introducción es obligado detenerse a considerar lo que entendemos por realidad. Para las personas corrientes esta cuestión no plantea ningún problema. Somos reales nosotros, los demás hombres, los animales, las plantas, los minerales, la Tierra, el Sol, la Luna y los demás astros. También son reales las obras humanas: las casas, las ciudades, los automóviles, la televisión... etc. Las personas normales también creen que son reales el dinero, el comercio, las cuentas, el lenguaje, el dolor de muelas y tantas y tantas otras cosas que puede pensar el lector sin mi ayuda. Por cierto también cree la gente que el pensamiento es algo real.

Evidentemente todas estas realidades no son iguales. No es lo mismo una mesa que un sentimiento de alegría. Por eso los filósofos, que hilan más fino que las personas comunes, han meditado sobre la realidad durante siglos. Algunos han pensado que hay cosas más reales que otras, es decir que hay varias clases de realidades. Otros han defendido dos realidades, una mental y otra material. Los ha habido más extremistas que opinaban que todo el mundo exterior es una ilusión creada por nuestra mente, que es lo único real. O bien, por el contrario, que sólo existe lo que se puede ver y tocar, y lo demás son fantasías.

He de advertir al lector que todo el párrafo anterior es una expresión

muy tosca de los pensamientos filosóficos. No hago justicia a los filósofos, cuyas opiniones son mucho más matizadas, expresadas en lenguaje más técnico y argumentadas con sutileza. Pero lo escrito basta para mostrar que el concepto de realidad no es claro y que ha variado a lo largo del tiempo. No voy a entrar en las ideas de los griegos, los escolásticos, los racionalistas, los idealistas o los filósofos más recientes; los libros de historia de la filosofía dan cumplida noción del desarrollo de las opiniones sobre la realidad.

Me parece pertinente, sin embargo, analizar una idea de la realidad que, sin ser reciente, ha calado profundamente en la mentalidad de los hombres de nuestro tiempo. Me refiero a lo que yo acostumbro a llamar materialismo reduccionista. Otros lo denominan simplemente materialismo, pero esto se presta a confusión con el materialismo histórico de Marx, cuyas connotaciones políticas son aquí irrelevantes.

La idea de que la única realidad es la materia es antiquísima. Demócrito y Epicuro entre los griegos y Lucrecio entre los romanos ya la defendieron. Durante el medioevo prevaleció la visión dualista de la realidad en el sentido de materia y espíritu. Más tarde reapareció un materialismo mecanicista con Hobbes y Locke popularizado por los filósofos ilustrados franceses, entre los que destacaron de la Mettrie y el barón d'Holbach. Tal vez bajo la influencia de Darwin, Engels y Lenin extendieron el materialismo de Marx a una teoría de la realidad y del pensamiento que, con el nombre de materialismo dialéctico, alcanzó enorme popularidad entre aspirantes a políticos que no habían leído los textos originales y no habían entendido nada. Otra forma de materialismo más respetable es el reduccionismo biológico de von Helmholtz y du Bois-Reymond, por citar sólo a sus representantes más conspicuos; se trata de un programa de investigación basado en que los fenómenos vitales pueden entenderse mediante las leyes de la física y de la química.

Como vemos, la reducción de la realidad a lo material no es nueva. Lo que sí es novedoso es la presentación de esta doctrina como probada científicamente y, por tanto, indiscutible y de obligada aceptación por quienes no deseen ser tenidos como ignorantes anclados en el pasado. Este hecho no es sólo novedoso sino grave, por su enorme difusión entre la gran mayoría de nuestros contemporáneos, que aceptan crédulamente cuanto leen en letra impresa o ven y oyen por otros medios de comunicación. En las páginas siguientes expondré lo que las ciencias dicen y no dicen respecto de la realidad. Pero antes conviene reflexionar, aunque sea brevemente, sobre el materialismo.

El materialismo reduccionista es una doctrina filosófica según la cual *todo cuanto existe o es materia o es consecuencia de las propiedades de la materia*. Para juzgar esta doctrina lo primero es saber qué es la materia.

Según creemos saber hoy, la materia es combinación de unos pocos entes elementales sin dimensiones que llamamos partículas. Son en primer lugar los quarks (seis), de los cuales sólo dos (u y d) forman los protones y neutrones de los núcleos atómicos. Hay además leptones (tres), de los cuales sólo uno (electrón) se combina con los núcleos para formar los átomos. Los átomos se asocian en forma de moléculas o cosas parecidas (por ejemplo sólidos). Y de la asociación de estos objetos resultan todos los entes materiales. La combinación de partículas se describe por medio de interacciones que son cuatro: fuerte, débil, electromagnética y gravitatoria. Estas interacciones están mediadas por otras entidades que también llamamos partículas, aunque son de carácter distinto a los quarks y los leptones; éstas son los gluones, los bosones pesados, los fotones y tal vez los gravitones. La exposición coherente de los procesos a que dan lugar las partículas y sus interacciones requiere otros elementos descriptivos (inercia, energía, cargas, probabilidades) menos identificables con el concepto de materia.

Ya sé que todo el párrafo anterior es muy técnico y difícil de comprender por los no especialistas. Es lícito pensar además que lo expuesto no sea completamente correcto. Es posible que investigaciones futuras nos lleven a alterar nuestra concepción actual de la materia. Pero no creo que cambien sustancialmente las ideas expuestas, que proceden de muchísimas observaciones muy bien comprobadas. Es razonable pensar que la materia es más o menos lo que he escrito en el oscuro párrafo anterior.

A partir de ahí, el materialismo reduccionista tiene la difícil tarea de deducir toda la realidad basándose en las leyes y principios de la física, que es la ciencia que se ocupa del estudio de las propiedades fundamentales de la materia. Y este programa es, en mi opinión, inviable, porque la física tiene limitaciones epistemológicas intrínsecas, al igual que las demás ciencias particulares.

Pero esta afirmación es adelantar argumentos que expondré más adelante. Volvamos a la realidad. A los efectos del presente estudio consideraré real todo lo que podemos percibir por nuestros sentidos o por nuestro intelecto y que de algún modo nos afecta o nos puede afectar.

En cuanto a la percepción por nuestros sentidos incluyo la ampliación de los mismos mediante aparatos y cualquier tipo de artificios. Por lo que se refiere a la percepción intelectual incluyo las instituciones, los razonamientos y la introspección. Cualquier interpretación más restrictiva de la realidad me parece que la mutila de algún modo.

Por eso aplicaré mi análisis a la realidad así entendida. Son reales la materia y la energía, la vida en todas sus manifestaciones y el mundo de las ideas. La realidad así entendida es sumamente compleja, porque se compone

de realidades parciales que dependen unas de otras. Las diversas ciencias particulares nos permiten acceder a aspectos parciales de la realidad. Es una visión limitada de cuanto existe, pero que puede ordenarse lógicamente para dar una imagen del mundo coherente y perfectible.

3. La ciencia

He escrito más arriba que la ciencia es el estudio de los fenómenos naturales. Esta frase es claramente insuficiente como definición, entre otros motivos porque el aspecto más importante de la ciencia no es el estudio sino los conocimientos a que conduce dicho estudio. Pero la frase tenía un valor delimitativo, en cuanto intención de excluir de la ciencia a otra actividad humana relacionada a veces pero diferente, que es la técnica, y conviene insistir en la diferencia para evitar una extendida confusión. La técnica es una actividad cuyo objeto es la aplicación de los conocimientos a la consecución de fines útiles. Y los conocimientos en que se basa la técnica pueden ser precientíficos o científicos. La construcción de muebles se basa en una técnica que no requiere conocimientos científicos. La revolución industrial que se inició a fines del siglo XVIII tampoco tenía una base científica. En cambio los sistemas de comunicación actuales se basan en los conocimientos científicos, sin los cuales no serían posibles. Gran parte de las técnicas actuales descansan en los descubrimientos científicos de los últimos dos siglos y es cada vez menor el tiempo que transcurre entre un avance científico y su aplicación. Actualmente se ha impuesto la palabra tecnología para designar de modo más preciso a una técnica con gran contenido científico. Esta matización es irrelevante para nuestro objeto. Lo importante es distinguir entre la ciencia, que es un saber, y la técnica, que es un hacer.

La ciencia es un saber muy amplio y variado que impresiona mucho a quienes la desconocen, sobre todo si su único contacto con ella es por medio de divulgadores que escriben la palabra con mayúscula. De hecho no hay una ciencia sino varias. La física, la biología, la geología y la astronomía son ciencias y todas tienen algo en común y por eso se engloban dentro del concepto general de ciencia en sentido estricto. También se usa la palabra ciencia por extensión para designar cualquier conocimiento y se dice ciencia jurídica en lugar de derecho o ciencia de la información en vez de periodismo. Con ello parece que se quieren ensalzar conocimientos que para mí eran dignísimos antes de que se les cambiase de nombre.

Aquí me refiero a la ciencia en sentido estricto, concepto muy difícil de definir. Podría procederse por exclusión diciendo que no es ciencia ni la téc-

nica ya mencionada, ni el arte, ni la ética, ni la política... etc. Esto tiene dos inconvenientes. En primer lugar nunca podríamos estar seguros de qué lista excluyente fuera completa. En segundo lugar sólo sabríamos lo que no es ciencia, pero no lo que es.

No queda más remedio por tanto que intentar una definición de lo que es una ciencia. He aquí una propuesta. Ciencia es descripción y correlación de aspectos de lo real obtenidas mediante la observación, la abstracción y la lógica. Esta definición es tan criticable como cualquier otra, pero tal vez sea suficiente para el análisis que me he propuesto en este trabajo. En todo caso, antes de rechazar la definición y proponer otra mejor, invito al lector a meditar sobre el análisis pormenorizado de la definición que se expone a continuación.

En primer lugar digo que la ciencia es descripción de hechos. Esto significa que la ciencia se limita a averiguar el cómo pero no el porqué de lo que existe o sucede. Pero una ciencia no es una simple lista de hechos como mantenían los positivistas. Por eso añado que es también correlación, con lo cual quiero indicar una estructura cognoscitiva.

Ya de estas primeras palabras se concluye que es falsa la creencia vulgar de que la ciencia explica todo. En realidad no explica nada. Porque explicar algo significa exponerlo de manera que otro lo entienda. Y esto nos lleva a averiguar qué quiere decir entender. En general decimos que ya entendemos algo cuando nuestra curiosidad ha quedado satisfecha. Algunos filósofos dicen cosa parecida cuando afirman que entender un hecho es verlo como necesario. Pero esto es muy subjetivo y depende de cada hombre, de su cultura y de su época. A pesar de lo dicho, la ciencia no es una descripción vacía de conocimiento. De hecho los científicos usamos las palabras explicar y entender con un significado menos impreciso. Las más de las veces decimos que entendemos un hecho cuando conseguimos reducirlo a otros que ya habíamos entendido y que reposan en otros y éstos a su vez en otros y así sucesivamente hasta que llegamos a misterios aceptados, como pueden ser el espacio y el tiempo, o a conceptos indefinibles, como la línea recta. A veces damos por explicado un fenómeno de otra manera. No es infrecuente que la descripción científica sea tan buena que en casos sencillos sea posible la predicción de hechos futuros a corto plazo. Cuando esto sucede damos por entendido el objeto de nuestro estudio. Más adelante volveré sobre esta cuestión de lo que significa comprender.

La definición también indica que lo que se describe y correlaciona son aspectos de lo real. No todo lo real ni siquiera fragmentos de la realidad sino aspectos. Con ello se quiere decir que se ignoran propiedades del objeto real que carecen de importancia para el hecho que se estudia. Así en la mecánica

sólo se considera la inercia como característica de los cuerpos que se mueven, ignorándose todas las demás propiedades físicas, químicas o biológicas de los mismos. En todas las ciencias se procede de la misma manera, porque la realidad es demasiado compleja y no podemos abordarla globalmente en todas sus facetas.

Suele decirse que lo que distingue a la ciencia de otras vías de acceso a la realidad es su metodología. En la definición dada más arriba se resume el método científico en tres palabras: observación, abstracción y lógica. Veamos lo que se quiere decir con estos tres términos.

La observación en ciencia significa algo más que mirar las cosas que queremos estudiar. Significa comparar, clasificar y medir. También significa comprobar cambios cuantitativos o cualitativos. Y en situaciones óptimas observar quiere decir experimentar. La experimentación es la herramienta más poderosa que poseemos en ciencia. En los experimentos manipulamos los objetos que queremos estudiar de manera que podemos eliminar factores que nos parecen accesorios. Podemos también repetir un experimento variando las condiciones que creemos importantes. En los mejores experimentos podemos además medir, es decir, especificar propiedades con números y unidades. En tales casos los resultados de los experimentos son casi inapelables y disponemos de hechos brutos prácticamente indiscutibles.

Por desgracia no siempre es posible manipular la realidad para efectuar experimentos convincentes. En unos casos porque los objetos de estudio no son accesibles, como ocurre con los planetas, las estrellas, las galaxias y los demás cuerpos celestes. En otros casos porque la ética nos impide la manipulación, y esto ocurre en el estudio de los seres humanos y de sus relaciones sociales de todo orden. Finalmente tampoco podemos experimentar sobre hechos pasados e irrepetibles, como son las primeras etapas del universo o la evolución biológica. En todos estos casos nuestras conclusiones científicas no pasarán nunca de ser conjeturas plausibles.

Además de la observación he mencionado la abstracción como otro momento del método científico. La diferencia es sólo conceptual pero no sucesiva en el tiempo. Y ello porque la abstracción interviene ya en las observaciones y experimentos. Esto sucede por una razón muy sencilla. En ciencia los resultados de los experimentos se expresan en un lenguaje no ambiguo. Y esto supone unos elementos descriptivos aceptados por todos antes de las observaciones. Estos elementos descriptivos provienen de abstracciones fundadas en paradigmas científicos anteriores o en nociones comunes que no se discuten por convenio tácito, pero que también proceden de alguna abstracción.

A pesar de lo escrito en el párrafo anterior, la distinción entre observa-

ción y abstracción está justificada. Los hechos brutos que provienen de la experiencia, aunque sea refinada, no son todavía ciencia. Cada ciencia es un conjunto sistemático de conocimientos. Y tal conjunto se consigue por etapas. En una primera etapa se pasa de los hechos observados a declaraciones generales que denominamos leyes naturales; estas leyes (también llamadas principios o axiomas) no se inducen a partir de los hechos particulares, sino que se llega a ellas por abstracción. Una segunda etapa consiste en la elaboración de teorías más amplias dentro de las cuales las leyes naturales se deducen lógicamente. En la construcción de las teorías interviene otro elemento, que es la invención, fruto de la imaginación. Entre las muchas teorías que se inventan sólo sobreviven aquellas que superan la prueba de experimentos futuros. Y por eso son siempre provisionales, por bien fundadas que estén. La historia muestra que a medida que avanzamos en la investigación científica encontramos nuevos hechos que nos obligan a modificar o complementar las teorías precedentes.

La invención de teorías no es sólo fruto de la imaginación, como ocurre con la creación artística. Las teorías científicas deben ajustarse a la lógica. Este elemento lógico que he introducido también en la definición de ciencia, tiene por lo menos dos consecuencias. Por una parte es un condicionamiento restrictivo, tanto en la ejecución de experimentos como en la selección de elementos descriptivos o el establecimiento de leyes naturales o teorías. Además nos lleva muchas veces a constructos teóricos contrarios a nuestra intuición pero que nos vemos forzados a aceptar porque dan cuenta de los hechos observados. Dos ejemplos claros son la teoría de la relatividad y la teoría cuántica. Ambas doctrinas ofrecen consecuencias contrarias a la intuición que provocan el rechazo inicial de los estudiantes cuando se les exponen por primera vez. Curiosamente al cabo de pocos años ya dicen que las entienden. Tal vez comprender es simplemente acostumbrarse.

No seguiré analizando la frase última, que nos llevaría muy lejos y nos apartaría del objeto de este trabajo. Es en cambio interesante señalar que las diversas ciencias no sólo nos dan visiones parciales de la realidad, sino que sus cultivadores desarrollan mentalidades diferentes. El grado de exigencia para aceptar que algo es verdad es sumamente variable. Los matemáticos son los más exigentes. Después venimos los físicos y los químicos. Más conformistas son los biólogos. Y muy laxos quienes cultivan las ciencias humanas. Y ello no se debe a que unos sean más listos que otros. Sucede que cuando la realidad es muy complicada porque se advierten más aspectos, la tolerancia es esencial para mantener la cordura. En las páginas siguientes comentaré varias ciencias para mostrar sus éxitos y sus limitacio-

nes; convendrá tener presente las diferentes mentalidades de sus cultivadores para apreciar sus contribuciones desde una perspectiva libre de prejuicios.

4. La matemática

La matemática es la ciencia que se ocupa de los aspectos más abstractos de la realidad. Tradicionalmente se decía que la matemática es la ciencia del número, de la cantidad, del orden y de la forma. Y estos conceptos son aplicables a realidades muy variadas. Por eso decía Poincaré que la matemática es el arte de designar con el mismo nombre a cosas muy distintas. Y así es. La palabra cinco es lo que tienen en común cinco rosas, cinco notas musicales o cinco doctrinas filosóficas. Adviértase que el número (cinco en el ejemplo anterior) y lo mismo la cantidad, el orden o la forma son elementos descriptivos de aspectos de la realidad obtenidos por observación y abstracción. Y por eso la matemática es una ciencia tan experimental como las demás, aunque sus elementos descriptivos se refieran a observaciones tanto sensibles como intelectuales. En la matemática se usan también conceptos menos inmediatos, productos de la generalización o inventados para proporcionar un apoyo teórico en la resolución de los problemas que aparecen en la propia matemática. Lo mismo sucede en las demás ciencias, pero la generalización y la invención matemática son tan lógicas que muchos llegaron a pensar que la matemática es un producto de la mente humana sin base experimental. Por razones que se expondrán más adelante esta opinión es insostenible actualmente.

Los elementos descriptivos primarios de la matemática son abstracciones que conoce todo el mundo. Consideremos en primer lugar el número natural. Proviene de las operaciones de contar o medir. Las combinaciones de dos números naturales que den su suma, diferencia, producto o cociente también son inmediatas. Pero ocurre que tales operaciones aritméticas no son siempre posibles dentro del ámbito restringido de los números naturales. Por eso se ha ido generalizando el concepto de número para incluir a todos los enteros (añadiendo el cero y los negativos), los racionales (que incluyen las fracciones), los reales (que incorporan muchas raíces y otras cosas) y los imaginarios (que permiten extraer raíces de cualquier número real). Todavía más generales son los cuaterniones y otros números hipercomplejos cuyo producto no es conmutativo.

Para averiguar los números que cumplen ciertas condiciones se inventó el álgebra. Y como consecuencia de su estudio y como conveniencia para resolver problemas algébricos se introdujeron nuevos objetos matemáticos: de-

terminantes, matrices, vectores, grupos y otras muchas cosas. Son también elementos descriptivos de otros aspectos de la realidad, aunque menos inmediatos que los números naturales.

En la naturaleza hay cosas medibles que dependen de otras también medibles y para expresar esta relación entre números se introdujo el concepto de función. Algunas veces puede expresarse una función por medio de una fórmula algebraica pero esto es poco frecuente. Un método más potente de representar funciones consiste en el uso de expresiones con un número infinito de términos. Hay casos en que tampoco esto es posible y tenemos que conformarnos con tabulaciones numéricas. Ocurre muy a menudo que no conocemos una función pero sabemos como cambia poquísimo un número cuando cambia poquísimo otro. A partir de este conocimiento limitado podemos conocer por lo menos parcialmente la función mediante la técnica del cálculo infinitesimal que se inventó para eso. También sucede a veces que unas funciones o números dependen de otras funciones globalmente y entonces hablamos de funcionales. El estudio de todas estas dependencias constituye el análisis matemático, que es una de las ramas de la matemática más útil para la descripción de los fenómenos naturales.

Otro elemento descriptivo muy importante en la matemática es el punto. Un punto es la abstracción de un objeto desprovisto de dimensiones. Un conjunto infinito de puntos puede formar una línea, que puede ser recta o no. Varias líneas pueden combinarse para dar lugar a figuras. Para estudiar las propiedades de las figuras se inventó la geometría, cuyo objeto inicial era muy práctico y accesible a todo el mundo; se trataba de medir las superficies de los terrenos. Una superficie es también un conjunto infinito de puntos pero con una dimensión doble. Del mismo modo la extensión normal de una superficie es un volumen de tres dimensiones. Un gran progreso en geometría fue la aplicación del análisis matemático a la resolución de problemas geométricos. En esto consiste la geometría analítica, la geometría diferencial y otras ramas de la matemática. Por estos métodos atacamos los temas geométricos desvinculados de la intuición inmediata. Y nada nos impide seguir lógicamente una generalización de la geometría en espacios de más de tres dimensiones y con características diferentes de la geometría ordinaria. De este modo surgieron las geometrías no euclídeas.

Como vemos, la matemática es una ciencia como las demás pero con un componente lógico más acusado. Aceptados unos pocos conocimientos comunes, establecidos otros mediante definiciones y admitiendo ciertos enunciados plausibles llamados axiomas, puede establecerse todo un conjunto de verdades denominadas teoremas por simple razonamiento lógico. Vistas así las cosas no es extraño que muchos matemáticos del siglo pasado y princi-

pios de éste llegasen a pensar que la matemática era una simple creación de la mente humana sin contenido empírico. Y para alejar todavía más a la matemática de la realidad se propuso como ideal el más extremo formalismo. Los objetos matemáticos serían símbolos sin significado concreto entre los cuales se establecen reglas de manipulación mediante las que se deducirían mecánicamente todos los teoremas o verdades matemáticas relativas a los símbolos admitidos. Este sueño de muchos matemáticos se vino abajo hace más de medio siglo cuando Gödel demostró su famoso teorema según el cual en todo sistema formal hay proposiciones indecidibles dentro del sistema. Es más, ni siquiera se puede probar que el sistema esté exento de contradicciones. Este teorema es el descubrimiento más profundo de la matemática de este siglo. La consecuencia es que hay que repensar el significado de la matemática, que es una ciencia menos incierta que otras pero ni completa ni independiente de la experiencia empírica.

De hecho la matemática es la más segura de las ciencias y como tal un sólido instrumento para las demás, pero tiene sus limitaciones. Por una parte, la simplicidad intrínseca de la matemática supone una mutilación muy severa de la realidad, que es esencialmente complejísima. En efecto, la matemática es simple porque se basa principalmente en cuatro conceptos: elemento, conjunto, estructura y correspondencia. Claro está que estas cuatro ideas son muy generales y por eso la matemática se desdobra en tantas ramas unas más abstractas que otras. Así un elemento puede ser algo tan simple como un número o una línea recta, pero puede ser también una función o un tensor o un vector en un espacio abstracto. Un conjunto es una colección de elementos que cumplen alguna condición característica, que puede definirse de muchas maneras; así podemos definir el conjunto de números enteros excluyendo a los demás o el conjunto de las funciones continuas ignorando las otras. Una estructura es una organización establecida en un conjunto mediante relaciones determinadas; la organización puede ser tan sencilla como una ordenación o muy complicada. Una correspondencia es una regla que asocia a cada elemento de un conjunto, uno o varios elementos de otro y de nuevo la regla puede ser muy simple, como duplicar un número, o muy complicada, como es transformar una función en un vector de un espacio de infinitas dimensiones. Vemos, pues, que la matemática es una ciencia muy rica y de una increíble belleza intelectual. Pero no toda la realidad encaja en un esquema que en el fondo es bastante restringido.

Un aspecto esencial de la realidad ausente de la matemática es el tiempo. La matemática es una ciencia atemporal en el sentido de que sus verdades (los teoremas) son independientes del tiempo, eternas si se quiere.

A pesar de estas limitaciones que conviene tener muy presente, la mate-

mática es el más poderoso instrumento de que disponemos para acceder a la realidad por vía científica. Y ello es así porque muchos aspectos de la realidad son matematizables. El propio tiempo lo podemos medir con relojes y convertirlo en números, que son ya objetos matemáticos. Los sucesos que ocurren al azar son también matematizables mediante el concepto de probabilidad, que se expresa por un número. Y no se piense que sólo es matematizable lo que se puede reducir a números. Las simetrías de los cristales o de las moléculas forman grupos y pueden estudiarse mediante la teoría matemática de grupos. Otros objetos matemáticos, como los fractales, son también prometedores como instrumentos de matematización de aspectos de la realidad. A medida que avanza la investigación matemática se descubren nuevos elementos matemáticos potencialmente útiles en diversas ciencias.

Conviene señalar finalmente que muchos aspectos de la realidad cuya posible matematización era conocida de antiguo no lo eran en la práctica, porque requerían cálculos larguísimos. Los ordenadores rápidos y con gran memoria de que disponemos permiten construir modelos matemáticos impensables hace pocos años. De este modo podemos introducir eficazmente la matemática en ciencias complejas como la economía, donde la matematización era hasta ahora muy limitada.

La disponibilidad de ordenadores interactivos es además muy importante en la propia matemática. Con estas máquinas pueden los matemáticos experimentar con objetos matemáticos. Se ha iniciado la era de la matemática experimental, que sin duda nos deparará muchas sorpresas.

En resumen, la matemática es una ciencia que nos permite ver solamente aspectos parciales de la realidad. Pero sin ella aún veríamos menos. Razón tenía Kant cuando escribió que una ciencia es tanto más ciencia cuanto más matemática contiene.

5. La física

La física se ocupa del estudio cuantitativo de los fenómenos que se observan en la naturaleza. Esta definición tan amplia es tal vez incorrecta, por cuanto los cambios de sustancias se estudian en química y los fenómenos vitales son objeto de la biología. Conviene observar, sin embargo, que los aspectos más cuantitativos de la química y de la biología se incluyen en la química física y la biofísica, que son conceptualmente parte de la física, como indican sus nombres. Pero está claro que la mayor parte de la química y casi toda la biología no son física. Por eso tal vez resulte más claro, aunque impreciso, decir que la física es la ciencia que se ocupa del movimiento, del sonido,

de la luz, del calor, de la electricidad, de los átomos, de las partículas fundamentales que constituyen la materia y de otros fenómenos que se pueden estudiar cuantitativamente con una metodología análoga a la que se emplea para estudiar el movimiento, el sonido... etc. No hace falta precisar más para que se entienda que la física es una ciencia no bien definida, porque sus fronteras son cambiantes; hace cuatrocientos años se incluía la medicina en la física. Tampoco la matematización sirve para caracterizar a la física, porque actualmente disciplinas tan alejadas de la física como la economía o la sociología tienden a utilizar la matemática. Digamos por tanto que la definición dada al principio de este párrafo es tan buena o tan mala como cualquier otra. Tal vez la mejor definición es la menos comprometedora: la física es la ciencia que cultivan unas personas que se autodefinen como físicos sin que nadie proteste. Dejemos este tema.

Lo importante es que la física puede dividirse en dos grandes ramas históricamente separadas: la física clásica o de los fenómenos de percepción inmediata y la física moderna o física de la materia cuyos componentes no son perceptibles por nuestros sentidos.

La física de los fenómenos se originó en el siglo xvii y se desarrolló en el xix, aunque existen precedentes de muchos siglos antes. Se ocupa de los cuerpos en movimiento, de los cambios de temperatura y de estado, de los sonidos, de la luz, de las fuerzas entre cargas y corrientes eléctricas... etc. Se basa en que todos estos aspectos de la realidad son medibles y en consecuencia las regularidades observadas pueden expresarse en forma matemática. Las características fundamentales de esta física clásica son las siguientes.

En primer lugar, la teoría se aplica a objetos ideales: punto material, sólido rígido, gas perfecto, onda monocromática, proceso reversible, cuerpo negro... etc., etc. Nada de esto existe en la realidad. Pero son objetos muy bien elegidos, porque representan bien aspectos de la realidad y porque se pueden construir situaciones experimentales muy próximas a lo que ocurriría si tales objetos ideales existiesen. De hecho los ingenieros se sirven de los objetos ideales de la física sin más que introducir pequeñas correcciones empíricas.

En segundo lugar, las propiedades concretas de los objetos (densidad, coeficiente de dilatación, índice de refracción, conductividad eléctrica..., etc.) aparecen en la teoría como parámetros que han de ser medidos. La física de los fenómenos poco o nada dice respecto de estas propiedades.

Finalmente conviene señalar que todos los objetos que estudia la física clásica se reducen a dos tipos: objetos puntuales o partículas y objetos extensos o campos. La materia es un conjunto de partículas. El sonido o la luz son campos que se propagan generalmente en forma de ondas. Esta observación, que parece obvia, porque una cosa o no tiene extensión o la tiene, es impor-

tante, porque indica que nuestra intuición, que proviene de la percepción inmediata, sólo es capaz de aprehender estas dos clases de objetos tan nitidamente diferentes. Veremos que las cosas son distintas en el mundo de los objetos no perceptibles de modo inmediato.

La física de la materia se ha desarrollado en nuestro siglo. Se ocupa de la deducción de las propiedades observadas en los cuerpos materiales a partir de la idea de que la materia es combinación de entidades sencillas o elementales, como pueden ser los electrones, los protones, los neutrones y otras partículas subnucleares. La materia sensible es la combinación de estas partículas, que forman núcleos atómicos, átomos, moléculas, sólidos... etc. Esta combinación está regida por reglas, que son consecuencia de ciertas relaciones fundamentales entre las partículas que hemos ido descubriendo a lo largo de esta centuria. Las características fundamentales de esta física moderna son las siguientes.

En primer lugar, los objetos elementales que constituyen la materia son reales, en el sentido de que vienen definidos por todas sus propiedades. Un electrón, por ejemplo, se identifica por su masa, su espín, su carga eléctrica, su momento magnético, su número leptónico... etc. Esto contrasta con los objetos ideales de la física clásica. En mecánica sólo se considera la masa de un punto móvil y la fuerza que sobre él actúa, pero carecen de importancia su composición, su color, su temperatura... etc. Hay que entender mi afirmación de que los objetos constituyentes de la materia son reales en el sentido de que quedan especificados por todas las propiedades que conocemos de ellos.

En segundo lugar, en la teoría de la materia sólo aparecen como datos empíricos ciertas constantes universales, como la velocidad de la luz en el vacío, la constante de Planck, la carga eléctrica elemental, las masas de las partículas..., etc. Y el sueño es que muchas o todas estas constantes universales sean consecuencia en el futuro de alguna teoría más fundamental que actualmente ignoramos. En este aspecto vemos también la gran diferencia entre la física de la materia y la física de los fenómenos.

Finalmente procede indicar que los objetos elementales que constituyen la materia no son intuitivos. Para describirlos usamos el lenguaje habitual porque no tenemos otro. Pero un electrón, para volver al ejemplo anterior, no es una bolita localizable. Según los casos conviene referirse a él como si fuese un objeto inextenso, aunque en otras ocasiones es más útil concebirlo como algo ubicuo. Y es que un electrón no es ni una partícula ni un campo en el sentido clásico. Es un enigma que no puede describirse en términos de las categorías que proceden de la percepción inmediata. A pesar de esta gran verdad no hay ambigüedad en nuestra descripción cuantitativa de los objetos elementales de la materia. Y ello es debido a que en la teoría asociamos los

atributos observables de los objetos físicos con objetos matemáticos incorporados a estructuras abstractas sumamente fértiles. De este modo conseguimos describir probabilísticamente los fenómenos microfísicos que observamos indirectamente. Comprendo que las frases anteriores sean difíciles de entender para los no iniciados, pero puedo afirmar que expresan bastante fielmente la metodología que nos ha conducido a realidades tan palpables como los semiconductores, que son base de la informática, o la física nuclear, que permite la construcción de bombas atómicas.

Los éxitos de la física clásica y de la física moderna se basan ambos en una experimentación habilidosa y en una matematización inteligente de sus resultados. Sería erróneo sin embargo concluir que la física sea reducible a la matemática. No lo es, porque los elementos descriptivos que se usan en física no son entes matemáticos, aunque pueden transcribirse a objetos matemáticos por medio de una intuición no lógica, que es un misterio en el cual no voy a entrar aquí. Conviene recordar, sin embargo, cuáles son los elementos descriptivos más importantes que se utilizan en física: tiempo, materia, interacción y energía. Ninguno de estos elementos aparecen en la matemática.

El tiempo puede transformarse en números mediante un reloj. Pero un reloj no es un objeto matemático. Es un instrumento en el cual confiamos porque creemos que marcha uniformemente, aunque no podamos probarlo lógicamente.

La materia es una abstracción que deriva de la inercia, que es una propiedad que tienen muchas cosas y que se manifiesta en que tienden a seguir moviéndose si no hay algo que lo impida. La característica más señalada de la materia es su masa, que medimos indirectamente en una balanza. Y digo indirectamente porque se basa en la aceptación de que la masa inerte y la masa pesante son estrictamente proporcionales, cosa que es probablemente cierta, pero que no es consecuencia lógica de nada.

La interacción es un concepto genérico para designar el hecho de que unas cosas están relacionadas con otras. Recibe diversos nombres. En mecánica elemental hablamos de fuerzas. En electromagnetismo clásico nos referimos a campos producidos por cargas eléctricas fijas o en movimiento. En física de partículas decimos que la interacción está mediada por partículas virtuales.

La energía es un índice de lo que permanece constante cuando todo cambia. Está a menudo en las cosas, pero no es una cosa. Puede no estar en ninguna cosa, como ocurre con la energía radiante. O puede convertirse en materia o viceversa. O puede encontrarse en la posición relativa de las cosas. La energía es un concepto muy abstracto que medimos de manera muy concreta. La energía es la capacidad para producir un trabajo y un trabajo es técnica-

mente levantar un peso. Por eso la energía, de difícil definición, se vende y se compra.

Podrían mencionarse otros elementos descriptivos que usamos en física. Y en todos encontraremos algo en común. Son medibles y reducibles a números. Pero a números con unidades. Y al expresar las unidades añadimos algo que no son números. Y en las inocentes palabras que indican las unidades está el contenido epistémico que impide la reducción de la física a la matemática. La matemática es una estructura lógica sin la cual la física es impensable. Pero la física se basa en elementos descriptivos ajenos a la matemática. La matemática es la abstracción más perfecta de ciertos aspectos de la realidad y por eso nada se encuentra en la física que sea contrario a las verdades matemáticas. *Pero la física es matemática más elementos descriptivos epistemológicamente irreducibles a la matemática.*

Antes de terminar estas líneas dedicadas a la física procede recordar un problema no resuelto en relación con el reduccionismo dentro de la propia física. A partir de las teorías que describen el comportamiento de las entidades elementales de la materia deberían poderse deducir todas las leyes que rigen los fenómenos macroscópicos. Pues bien, hay por lo menos un caso en que ello no es posible. Me refiero a la dirección del tiempo. En la física clásica podemos distinguir el pasado del futuro, porque una ley establece que la entropía de un sistema aislado crece hasta alcanzar un máximo. Por eso un estado de mayor entropía es posterior a otro estado de menor entropía.

Pues bien, esta ley del crecimiento de la entropía en el transcurso del tiempo no puede deducirse a partir de la física de la materia, por la sencilla razón de que las leyes del movimiento que conocemos (tanto clásicas como cuánticas) no distinguen el pasado del futuro. Técnicamente decimos que las leyes del movimiento son invariantes frente a la inversión temporal. Es cierto que la mecánica estadística permite calcular la probabilidad de que un sistema pase de un estado a otro y resulta ser enorme la probabilidad de que este estado posterior sea de mayor entropía. Pero un cálculo análogo indica que es igual de grande la probabilidad de que el estado actual provenga de un estado anterior de mayor entropía, lo cual es falso y contrario a la ley de crecimiento de la entropía. La única manera de evitar esta contradicción es establecer como principio que el concepto de probabilidad sólo puede usarse en relación con lo contingente (que puede ocurrir o no) y no con lo desconocido que ya pasó. Pero al establecer este principio estamos ya introduciendo la diferencia entre pasado y futuro, que no estaba en las leyes fundamentales que describen el movimiento de las entidades elementales de la materia. Ya sé que en los libros hay demostraciones de la ley de crecimiento de la entropía a partir de la mecánica estadística, pero todas tienen trampa. Y es que a

partir de teorías invariantes frente a la inversión temporal no se puede por arte de magia llegar a una conclusión que no conserve la misma invariancia.

En resumen y para terminar con la física, llegamos a la conclusión de que no sólo la física es irreducible a la matemática, sino que ni siquiera toda la física de los fenómenos es reductible a la física de la materia que hoy conocemos.

6. La química

La química estudia las propiedades y composición de las sustancias así como las reacciones que tienen lugar entre ellas. A primera vista parece que la química es una parte de la física de la materia, porque sabemos que todas las sustancias son combinación de núcleos atómicos y electrones. La sustancia más sencilla es un gas monoatómico que contiene solo átomos; un átomo es un sistema relativamente sencillo, formado por un núcleo (compuesto de protones y neutrones) rodeado de electrones. La mayor parte de los gases, sin embargo, no son monoatómicos, sino que contienen moléculas que son agregados de varios (o muchos) núcleos y un número generalmente mucho más elevado de electrones. Muchas veces las moléculas están muy juntas formando líquidos con propiedades distintas a los gases de la misma composición molecular. Es frecuente que la materia aparezca en forma sólida, con los núcleos atómicos ordenados y formando estructuras regulares; los sólidos pueden tener propiedades muy raras que tienen poco que ver con las propiedades de la misma sustancia en estado líquido a mayor temperatura. Por otra parte ocurre a menudo que varias sustancias juntas reajusten sus núcleos y electrones de otra manera, de forma que surgen nuevas sustancias; en esto consisten las reacciones químicas.

Como vemos, la química estudia cosas muy complicadas. Y aunque en principio cualquier porción de materia es un sistema cuántico de núcleos y electrones que siguen las leyes de la física de la materia, en la práctica para progresar en química es necesario proceder de otra manera con nuevos elementos descriptivos. Y ello es debido a que casi todas las moléculas son demasiado complicadas si las describimos al modo de la física. Tomemos como ejemplo muy sencillo la molécula del agua. Según la física, es un sistema compuesto por dos protones (núcleos de hidrógeno), un núcleo de oxígeno y 18 electrones. El cálculo *ab initio* de este sistema cuántico es casi inabordable. Imaginemos lo que sería estudiar de este modo una molécula de proteína con cientos de núcleos y miles de electrones.

Para obviar estas dificultades los químicos usan un paradigma distinto.

Aceptan como punto de partida un modelo según el cual las moléculas están formadas por átomos. Esto no es cierto, porque los electrones de una molécula tienen una disposición distinta de la que presentan en los átomos que supuestamente forman la molécula. Por eso las propiedades del agua no son consecuencia de las propiedades del hidrógeno y del oxígeno que, según el modelo químico, forman la molécula de agua. Además, si se descompone el agua, no aparecen átomos sino moléculas de hidrógeno y oxígeno. En general en las reacciones químicas intervienen moléculas o iones, pero raramente átomos.

A pesar de estas objeciones conceptuales el paradigma químico es genial porque es el único modo de estudiar las moléculas complicadas y sus reacciones. Pero para conseguir estos objetivos es necesario introducir elementos descriptivos nuevos. Así se consideran muchos tipos de enlaces entre átomos: covalente, iónico, metálico, coordinado, de hidrógeno... etc. Se admite la existencia de radicales y otros grupos funcionales. Hay compuestos de coordinación con sus ligandos. Hay ácidos, bases y sales, isómeros, reacciones de oxidación y reducción, catálisis y tantas y tantas más cosas que aparecen en los libros de química. Gracias a estos elementos descriptivos nuevos la química es posible.

Evidentemente todos estos elementos descriptivos de la química tienen una base física y de hecho se explican a partir de principios cuánticos. Pero la explicación suele ser sólo cualitativa y frecuentemente *a posteriori*. Por eso la química cuantitativa se basa en leyes relativas a los elementos descriptivos nuevos. Son leyes químicas ciertamente compatibles con la física, pero creo que no son reducibles a esta ciencia. Por lo menos hasta ahora.

Otra cosa es afirmar que la química moderna es inconcebible sin el apoyo de la física, lo cual me parece correcto, del mismo modo que es verdad que la física actual es impensable sin la matemática. Pero así como la física no es reducible a la matemática, me parece que la química tampoco es reducible a la física. Y ello porque en la química se usan elementos descriptivos nuevos adaptados a un paradigma distinto. Y muy fructífero por cierto.

7. La biología

La biología se ocupa del estudio de los seres vivos y de los fenómenos vitales en todos sus aspectos. Esta definición supone que se sabe lo que es un ser vivo o, dicho de otra manera, lo que es la vida. Pero ocurre que la vida es un concepto de imposible definición, aunque todos creemos distinguir entre un ser vivo y un ser inerte. Algunas veces no es tan fácil la distinción y de ahí

la dificultad. No insistiré sobre este problema, porque a efectos de nuestro estudio basta con lo que vemos directamente: las plantas y los animales son seres vivos y las rocas no.

Todos los seres vivos constituyen la biosfera. Y lo que más sorprende inmediatamente es la enorme diversidad de la biosfera. Hay una gran variedad de plantas y animales acuáticos y terrestres que viven en ambientes muy diferentes y de modos también distintos. Para poner orden en tanta variedad se inventó la taxonomía, que tomó su forma actual en el siglo XVIII. Los individuos de una población que tienen igual morfología y se reproducen entre ellos constituyen una especie. Especies parecidas forman un género. Los géneros próximos se agrupan en familias, éstas en órdenes, éstos en clases y éstas en filos o tipos. Los distintos tipos se integran en reinos. Son reinos diferentes las móneras (procariontes unicelulares), las protistas (eucariontes unicelulares), las plantas y los animales. Algunos autores consideran que los hongos forman un reino separado de las plantas.

El desarrollo de la paleontología durante el siglo XIX permitió identificar fósiles de seres vivos en diferentes estratos geológicos. Las especies que ahora observamos son sólo una pequeña fracción de las que han existido en el pasado y que por las razones que sean se extinguieron. En casos favorables se han encontrado fósiles de diversas épocas que tienen rasgos comunes, lo que indica que se corresponden con especies que se sucedieron unas a otras.

La clasificación diacrónica de la paleontología junto con la sincrónica de la taxonomía condujeron en el siglo pasado a la teoría de la evolución, según la cual las especies actuales son producto de especies anteriores extintas que han ido cambiando a lo largo de centenares de millones de años. Las especies parecidas proceden de una especie común y los géneros deben su semejanza a un antecesor más antiguo. En los últimos ciento cincuenta años se ha producido una acumulación de pruebas tal que resulta impropio hablar de una teoría de la evolución. La evolución biológica es un hecho de observación indubitable. La vida surgió en la Tierra hace varios miles de millones de años y desde entonces ha evolucionado en formas cada vez más diversificadas.

Formas muy diversificadas pero no independientes. La ecología es una rama más reciente de la biología, que nos descubre las interrelaciones entre los seres vivos. Los animales no son capaces de sintetizar las proteínas y se nutren de otros seres heterótrofos o de las plantas verdes, que son autótrofas y capaces de fotosíntesis. Pero muchas plantas actuales dependen de los insectos para la fecundación y el suelo vegetal está muchas veces condicionado por los animales. Además la composición actual de la atmósfera terrestre es resultado del oxígeno que se produce en la fotosíntesis. Todo esto indica que

la evolución de la biosfera ha ocurrido como un todo y es una simplificación pensar sólo en una rama del árbol evolutivo. Si añadimos el hecho de que a lo largo de estos millones de años han ocurrido cambios geológicos y climáticos importantes, llegaremos a la conclusión de que tal vez nunca conoceremos todos los detalles de la evolución biológica.

El estudio cuidadoso de cada ser vivo individual ha mostrado la enorme complejidad tanto anatómica como fisiológica de cualquier viviente. Incluso los seres unicelulares actuales son muy complicados porque son también resultado de una evolución prolongada. Las plantas y animales multicelulares superiores son organismos todavía más complejos cuyo metabolismo depende de órganos con funciones específicas. A lo largo de los últimos doscientos años el progreso en el conocimiento de la anatomía y la fisiología ha sido gigantesco sobre todo en lo referente al ser humano, por sus implicaciones médicas. Ello ha sido posible gracias a experimentos ingeniosos y a métodos de observación potentes, entre los cuales hay que destacar el microscopio. Pero no hay que olvidar que estos avances hubieran sido imposibles sin la contribución de la química antes llamada biológica y que hoy denominamos bioquímica.

Pero el conocimiento de los seres vivos sería incompleto si sólo estudiasemos el dinamismo que rige los procesos vitales de los individuos adultos. Los seres vivos se reproducen y se desarrollan antes de llegar a la fase adulta que precede a la degeneración y a la muerte. Esto implica un dinamismo de otro nivel. La reproducción es frecuentemente de carácter sexual, con intervención de dos organismos de la misma especie pero distinto sexo, lo cual contribuye a aumentar la diversidad en la descendencia. El estudio empírico de las leyes de la herencia de caracteres avanzó con el descubrimiento de los cromosomas, dando lugar a la genética moderna, que ha tenido importantes aplicaciones prácticas en la selección y desarrollo de variedades vegetales y animales útiles. Desde un punto de vista más fundamental es interesante conocer cómo se forma el individuo adulto a partir del cigoto; es un proceso muy complicado que vamos conociendo gracias a la embriología y la genética del desarrollo.

Toda esta inmensa variedad de fenómenos vitales tiene mucho en común, como hemos aprendido en los últimos cincuenta años gracias a la biología molecular. Resulta que aparte del agua y algunos oligoelementos, los seres vivos están compuestos de hidratos de carbono, lípidos, proteínas y ácidos nucleicos. *Estos dos últimos componentes son los más específicamente biológicos*, en el sentido de que forman las estructuras de los seres vivos las primeras (aparte de otras muchas funciones) y contienen la información genética los segundos. Por eso los virus, que son el límite inferior de los vivientes,

sólo contienen ácidos nucleicos y proteínas. Pues bien todas las proteínas son secuencias de sólo veinte aminoácidos, que son los mismos para todos los seres vivos. Y todos los ácidos nucleicos son secuencias de sólo cuatro bases o nucleótidos, que también son idénticos para todos los vivientes. Estos hechos nos muestran la unidad esencial de la biosfera y nos indican que la gigantesca variedad de los seres vivos proviene de la combinación de muy pocos compuestos moleculares. Las combinaciones no son todas las posibles, porque muchos genes (fragmentos de ácido nucleico) mantienen su estructura y función a lo largo de la evolución. Lo mismo sucede con lo que García-Bellido llama *sin-tagmas*, que son equipos de genes relacionados por interacción y reconocimiento molecular que llevan a cabo operaciones genéticas específicas.

Como conclusión podemos decir que los seres vivos son estructuras dinámicas muy complicadas formadas por moléculas muy especiales y condicionadas por la evolución. Sabemos ya mucho sobre estas estructuras y su dinamismo, aunque es probablemente mucho más lo que nos falta por conocer. Por eso la ciencia de vanguardia hoy es la biología.

Volviendo al tema general de este estudio me importa mucho resaltar el hecho evidente de que, aunque la vida tenga una base molecular, los elementos descriptivos de la biología son totalmente distintos de los de la química. Ya en las páginas anteriores han aparecido muchas palabras que lo demuestran. Pero tal vez convenga insistir en cuatro grandes conceptos biológicos que no aparecen en el estudio de la materia inerte: organismo, metabolismo, reproducción y evolución.

El organismo es el elemento descriptivo fundamental de un ser vivo. Y se descompone en otros muchos. Las células son las unidades básicas, que se agrupan en tejidos, que a su vez se estructuran en órganos que tienen una función específica. El conjunto de órganos está coordinado por hormonas y en su caso por el sistema nervioso.

El metabolismo es la manifestación del dinamismo vital. Y depende de su entorno para mantener la vida. Las plantas verdes absorben energía luminosa y dióxido de carbono atmosférico para producir proteínas por fotosíntesis. Los animales respiran y se nutren por ingestión.

La reproducción es también característica única de los seres vivos. Cada especie tiene un genoma particular. La reproducción sexual es muy frecuente. La morfogénesis es un maravilloso proceso de ordenación. El envejecimiento y la muerte son el contrapunto de la pujanza inicial del ser nuevo.

La evolución finalmente es la base de la vida. No sabemos cómo se originó el primer ser vivo aunque se han expuesto muchas hipótesis, todas un tanto voluntaristas. Sin duda fue un fenómeno natural, puesto que ocurrió en la naturaleza y ni los aminoácidos ni los nucleótidos son moléculas que no se ajustan

ten a las leyes de la química. Pero las condiciones bajo las cuales pudo surgir un objeto formado por tales moléculas y capaz de ser biológicamente viable es un misterio. También es enigmática la evolución y diversificación posterior, aunque las mutaciones espontáneas y la selección natural permiten entender el proceso por lo menos parcialmente. Tal vez la genética del desarrollo nos dé la clave para comprender la posibilidad de la evolución. En todo caso lo más importante es saber que en el genoma de cada ser vivo está presente la historia del proceso evolutivo que condujo a él.

Para concluir con la biología conviene insistir en que los elementos descriptivos de esta ciencia no pueden reducirse a la química. Por supuesto que sin la química no entenderíamos casi nada de la biología, y de aquí la admiración que todos sentimos por la biología molecular. Pero los fenómenos vitales son química basada en moléculas especiales que se reconocen y que conducen a estructuras seleccionadas por circunstancias exteriores cambiantes y condicionadas por la propia evolución. Todo esto es muy complicado. Tal vez no sea muy estúpido decir que la vida es química más historia. Por lo menos si no precisamos lo que entendemos por historia en este caso.

Hubo dudas en el pasado sobre si la biología era compatible con las leyes básicas de la materia descubiertas por la física. Hoy sabemos que no hay ninguna incompatibilidad. El desarrollo y mantenimiento de un ser vivo suponen una disminución o conservación de la entropía, pero ello no es contrario al segundo principio de la termodinámica, porque un ser vivo es un sistema abierto que recibe materia y energía de bajo contenido entrópico y expulsa residuos con más entropía; en el conjunto del ser vivo y su entorno se genera entropía, como debe ocurrir en los procesos irreversibles. Tampoco la organización espontánea es contraria a la física. En sistemas fuera del equilibrio es un fenómeno normal. Claro es que en los sistemas físicos nunca encontramos una organización espontánea tan complicada como los que se observan en los seres vivos. Pero es que los seres vivos no son sistemas materiales sencillos.

En cuanto a la matemática, nada hay en la biología que la contradiga. Por el contrario, conocemos algoritmos matemáticos muy sencillos que por iteración y eliminación conducen a objetos matemáticos que pueden representarse en formas muy complicadas pero bien estructuradas. De momento estos esquemas matemáticos son sólo metáforas de algunos procesos de crecimiento biológico. Pero parecen indicar que la lógica que subyace en la biología no es distinta de la que descubrimos en los objetos matemáticos.

En resumen, la biología es compatible con la química e incomprensible sin ella. También es compatible con la física y la matemática y tal vez en el futuro contribuyan estas ciencias más que ahora a comprender los fenóme-

nos vitales. Pero la materia viva precisa para su estudio elementos descriptivos nuevos que no son deducibles de las llamadas ciencia duras.

8. La etología

La etología se ocupa del comportamiento de los animales. Es sin duda parte de la biología pero su objeto y sus resultados merecen una consideración especial por su relación con el comportamiento humano. La etología es una ciencia reciente aunque con antecedentes remotísimos, porque el hombre ha observado el comportamiento de ciertos animales para aprovecharse de ellos desde tiempos muy antiguos. Lo novedoso de la etología es el estudio sistemático de la conducta animal y su relación con el sistema nervioso más o menos desarrollado de las diferentes especies.

El sistema nervioso está constituido por neuronas conectadas múltiplemente entre sí por medio de sinapsis. Durante el proceso evolutivo han surgido sistemas nerviosos cada vez más complejos y más concentrados en el cerebro, de manera que puede decirse que la evolución ha venido acompañada de una cerebración creciente del reino animal. El cerebro de los mamíferos superiores es ya muy parecido al nuestro. El sistema nervioso es responsable de la conducta animal, que es más o menos complicada según sea aquél. En los invertebrados inferiores observamos reacciones de orientación y locomoción (taxias), que son ya cualitativamente distintas de los tropismos vegetales. Pero es la etología de los animales superiores la que presenta mayor interés para nuestro estudio y a la que dedicaré algunos comentarios.

En los animales existe un comportamiento innato y otro adquirido. El primero es de origen genético y se manifiesta en lo que tradicionalmente se llamaron instintos. Son respuestas automáticas a determinados estímulos externos sin las cuales sería imposible la supervivencia del individuo o de la especie. Hay instintos para la nutrición, para la reproducción y para la vida social en aquellas especies que lo precisan. En algunos animales no todo lo que llamamos instintos es de origen genético, porque existen mecanismos de grabación de origen externo que ocurren en los individuos recién nacidos y que también conducen a una conducta automática.

El comportamiento adquirido, por el contrario, requiere tiempo además de memoria y por eso es escaso en los insectos de vida corta. En los animales superiores, sin embargo, el comportamiento adquirido por aprendizaje es importantísimo. La forma más sencilla de aprendizaje es la adquisición de reflejos condicionados por estímulos repetidos cuyas consecuencias se almacenan en la memoria. Más complicado es el verdadero adiestramiento de

nuevas formas de comportamiento por un condicionamiento operativo. Los animales aprenden rápidamente lo que les conviene, porque distinguen entre lo que satisface sus deseos y lo que no; aquí la palabra deseo hay que tomarla con cautela, lo mismo que la palabra curiosidad, para indicar la ejecución de varias operaciones hasta encontrar el objetivo buscado. También los animales superiores aprenden de sus congéneres por imitación. Y finalmente algunos animales son adiestrados por el hombre, que suele utilizar el método del premio y el castigo. Evidentemente el adiestramiento se basa en una predisposición genética, como lo prueba la existencia de animales domésticos y salvajes. También influye el ambiente y por eso muchos animales domésticos se vuelven salvajes si son abandonados.

Los animales tienen la capacidad de comunicarse entre ellos de muy diversos modos. Hay animales que emiten señales luminosas y se comunican por el sentido de la vista. El olfato es también un mecanismo de comunicación importante (recuérdense los feromonas). En los animales superiores predominan las señales acústicas, que cumplen diferentes cometidos: atracción sexual, relación con las crías, advertencias de peligros, delimitación de territorios y otros. Por todo ello es lícito decir que los animales tienen lenguaje aunque sea primitivo. Por supuesto que hay también un lenguaje innato y otro aprendido.

Conviene también señalar que muchos animales presentan un comportamiento social. Los insectos sociales son el ejemplo más claro y mejor estudiado, porque la conducta de tales insectos es muy uniforme debido a su carácter innato. Más importante para este estudio es el comportamiento social de los mamíferos superiores porque presentan características muy próximas a muchos aspectos de la conducta humana. En algunas especies las relaciones familiares son sumamente notables. En las mismas o en otras especies se perciben actitudes agresivas que dan lugar a jerarquías dentro de una tribu. En general puede decirse que los avances en etología muestran que muchos aspectos del comportamiento que creíamos específicamente humano se presentan ya en los animales. La sociobiología se ocupa de estudiar estos comportamientos y algunos de sus cultivadores pretenden que por esa vía se llegará a explicar el comportamiento humano en su totalidad. Lo veo difícil.

Volviendo a lo que se persigue en este estudio procede recordar cuáles son los elementos descriptivos que se usan en etología y que son distintos de los que se emplean en el resto de la biología. Los más destacables son los instintos, la memoria, el aprendizaje, la comunicación y la relación social. Ninguno de estos elementos descriptivos son necesarios ni se usan siquiera sea metafóricamente en la biología molecular o en la genética o en otras partes de la biología fundamental. Es cierto, sin embargo que nuestros estudios del

sistema nervioso nos permiten conocer en algunos casos y vislumbrar en otros que los fenómenos del psiquismo animal pueden atribuirse en muchos casos a mecanismos neurológicos que van siendo cada vez mejor conocidos. No existe por tanto incompatibilidad entre lo que nos descubre la etología y lo que nos enseña la biología fundamental.

Parece, sin embargo, que hay un salto cualitativo entre la vida vegetativa y el comportamiento de los animales. Los instintos animales son complicadísimos, sobre todo si afectan a una comunidad entera, como es el caso de los insectos sociales. La memoria nos parece menos misteriosa porque estamos habituados a los registros que utilizamos desde antiguo con la escritura y recientemente en soporte magnético o electrónico. El aprendizaje es algo que intentamos conseguir con los computadores aunque de forma mucho más rudimentaria que el que observamos en los animales. La comunicación y la relación social de los animales sociales, finalmente, se parece más a lo que hacemos los humanos que a lo que designamos por comunicación e interrelación en los sistemas informáticos.

Otra forma de considerar el comportamiento de los animales superiores es desde la perspectiva del comportamiento humano, que conocemos mejor. La comparación es difícil porque nosotros no sólo observamos la conducta de los demás, sino que creemos que la introspección, aunque sea individual, es común a toda la especie humana y es por tanto una fuente válida de conocimiento. Nosotros vemos nuestro psiquismo por dentro aunque sea imperfectamente, mientras que a los animales jamás conseguiremos verlos más que por fuera. Las limitaciones del conductismo son en este caso insalvables.

Los antiguos caracterizaban el psiquismo humano por tres facultades: memoria, entendimiento y voluntad. Aunque es evidente la diferencia entre el hombre y los animales, es interesante intentar la aplicación de los conceptos que implican las tres facultades a estos últimos. El problema es la dificultad creciente en la definición de las citadas facultades. La memoria no presenta problemas; es el registro de impresiones pasadas y su recuperación en el futuro. Y los animales claramente tienen memoria. El entendimiento es cosa más complicada. Si correlacionamos el entendimiento con el lenguaje, alguna clase de entendimiento tienen los animales, que disponen de un lenguaje rudimentario. Si medimos el entendimiento por la capacidad de resolver problemas, también tenemos que atribuir a algunos animales superiores cierto entendimiento, porque son capaces de resolver algunos problemas prácticos elementales. En cuanto a la voluntad la cuestión parece irresoluble. Cualquier acto observado desde fuera puede interpretarse como necesidad o como resultado de una libre elección. Sólo la introspección nos permite a los humanos percibir nuestra voluntad. Y caso de que los animales sean capaces

de introspección, ésta será siempre inaccesible para nosotros. A pesar de ello hablamos de voluntad en relación con los animales, pero ello no pasa de ser una analogía antropomórfica. O tal vez sea algo más. No lo sabemos.

9. La psicología

La psicología se ocupa del estudio de la mente, de los procesos mentales y del comportamiento asociado a dichos procesos. Esta definición es excesivamente amplia para el objeto de este estudio porque incluye tanto la psicología animal como casi todas las ciencias sociales. Y aquí sólo me voy a referir a aquellos aspectos de la psicología humana que son pertinentes para esclarecer la diferencia radical que existe entre los animales y los seres humanos. Pero no vale la pena refinar la definición para adaptarla a nuestro caso.

El carácter único de la especie humana no debe hacernos olvidar que procedemos evolutivamente del reino animal y que tenemos mucho en común —también psíquicamente— con los animales superiores, singularmente con los simios que son nuestros parientes más próximos. Las investigaciones más recientes descubren similitudes insospechadas entre dichos animales y nosotros. Por eso algunos biólogos, llevados por su entusiasmo y ofuscados por su reduccionismo, piensan que la diferencia entre los animales y nosotros es sólo subjetiva y desaparecerá con el progreso de sus investigaciones. Yerran, porque la diferencia radical entre cualquier animal y un hombre es un hecho comprobable empíricamente.

Si un ser inteligente llegase a la Tierra desde otros mundos constataría inmediatamente que entre todas las especies animales sólo hay una —la humana— cuyos individuos se visten, comen alimentos cocinados, habitan en casas no idénticas, hacen caminos, cultivan la tierra, crían animales domésticos, construyen instrumentos..., etc. Si ese ser inteligente fuera longevo de siglos comprobaría además que esas y otras actividades humanas evolucionan a lo largo del tiempo, son cambiantes. Aun sin relacionarse con nosotros y por pura observación descubriría que la especie humana tiene una cultura (en el sentido más amplio de la palabra) que no posee ninguna otra especie animal. Y esa cultura es consecuencia de la mente humana. Por eso acertaban los antiguos cuando decían que el hombre es un animal racional.

Para el estudio del comportamiento humano conviene distinguir entre la conducta y la conciencia. La conducta es lo que vemos que hacen los hombres como resultado de observaciones objetivas. La conciencia es la sede del yo y de los procesos mentales. Una parte de la conducta humana es semejante a la de los animales porque está controlada por la parte más antigua de

nuestro cerebro en el sentido evolutivo. Otra parte de la conducta es completamente distinta de la de los animales porque es el resultado de procesos mentales vinculados con la parte moderna del cerebro que sólo posee nuestra especie. Los neurólogos están descubriendo los lugares concretos del cerebro relacionados con procesos mentales.

La característica humana más sorprendente, porque casi puede percibirse desde fuera, es el lenguaje simbólico. Todos los hombres lo poseen y ningún animal es capaz de adquirir esta destreza. El lenguaje simbólico permite transmitir de generación en generación los conocimientos y costumbres que van adquiriendo los humanos y en esto consiste la cultura, que es una realidad no biológica que evoluciona según reglas mal conocidas sin duda porque deben ser muy complicadas. Lo que es evidente es que las culturas aisladas evolucionan más o menos y de manera diferente. Esto indica que la evolución cultural, al igual que la biológica, depende de factores internos a un grupo y de factores externos. Todo esto es muy complicado y más vale dejarlo.

Lo que parece claro es que el lenguaje simbólico está íntimamente relacionado con la actividad mental que llamamos entendimiento, razón o inteligencia. Esta capacidad o facultad es imposible de definir pero los pensadores de todos los tiempos han descubierto rasgos que muestran facetas de la inteligencia probablemente incompletas.

En primer lugar está la abstracción, que es la capacidad de aprehender lo que tienen en común cosas distintas. Pero no sólo cosas que se corresponden en el lenguaje con los sustantivos, sino acciones que denotamos por los verbos y propiedades que expresamos como adjetivos. En segundo lugar está el razonamiento lógico, que nos permite pasar de premisas a conclusiones y que expresamos en forma de silogismos. Hay finalmente en los procesos mentales una facultad más sorprendente, que es la creatividad o capacidad de inventar. Llamamos imaginación a la capacidad de crear en nuestra mente cosas que no existen pero que contrastadas con la realidad dan lugar a la invención. Hay otros muchos aspectos de la inteligencia que no menciono y sin duda muchos más que ni siquiera conocemos. Es posible además que este método analítico de describir la mente humana deje fuera rasgos globales imprescindibles, pero de momento no sabemos hacer nada mejor. La mente es el objeto de estudio más difícil con que podemos enfrentarnos. En comparación con él los componentes últimos de la materia o los procesos biológicos son cosas de niños.

Me he referido adrede anteriormente a un paralelismo entre las actividades intelectuales que llamamos genéricamente pensar y el lenguaje simbólico. Y es interesante cuestionar si son dos realidades distintas o dos aspectos de una misma realidad. Por introspección parece que no podemos pensar sin

hablar por dentro. Quien domina varios idiomas se da cuenta de que puede pensar en cualquiera de ellos, pero la mente se queda en blanco si pretende prescindir de todos. En el pensamiento matemático a veces parece que las palabras no intervienen y sólo juegan los números y las figuras. Pero los números y las figuras son también símbolos al igual que las palabras. Me inclino por ello a creer que pensamiento y lenguaje son dos manifestaciones complementarias —una interna y otra externa— de un mismo proceso de la mente humana.

En favor de esta interpretación está el hecho comprobado en muchas ocasiones de que un niño abandonado y que crece entre animales no sólo no habla sino que tampoco razona. El cerebro humano está preparado para hablar y pensar si es estimulado por el contacto con los humanos adultos. El cerebro humano es producto de la evolución biológica pero sólo potencialmente rico. La mente humana en toda su complejidad resulta del contacto del cerebro virgen con otros seres humanos de su entorno que ya poseen procesos mentales adquiridos. Podría decirse que un nuevo ser humano procede de la evolución biológica y de la evolución cultural de su especie. En los animales que aprenden de sus congéneres pasa algo parecido, pero muy distinto, porque en los animales no hay evolución cultural.

El origen de la razón es tan oscuro como el origen de la vida, pero parece claro que el hombre es conjunción de un objeto biológico con un cerebro muy perfeccionado y un elemento no material que toma de la convivencia con otros hombres. Clásicamente se expresaba este hecho diciendo que el hombre se compone de cuerpo y alma. Tal vez con este enunciado se quiere decir más de lo que he expuesto en la frase anterior, pero mi intención al referirme al pensamiento tradicional no es otra cosa que constatar que en el hombre existe una dualidad de dos elementos, uno material y otro no material, que ya vieron los pensadores antiguos y que se confirma meditando sobre datos científicos modernos.

Es interesante señalar cierta analogía entre la evolución biológica y la evolución cultural. En ambos casos la evolución consiste en potencialidades que se activan o no por estímulos exteriores. Pero tanto las nuevas potencialidades como los nuevos estímulos de una etapa posterior van surgiendo condicionadas por las etapas previas, cuyos grandes rasgos permanecen en mayor o menor medida.

Tal vez la facultad más misteriosa de la mente humana sea la voluntad o lo que es lo mismo la libertad de decisión, el libre albedrío en la nomenclatura tradicional. Es algo que no puede probarse por observación de la conducta pero que la introspección nos muestra inequívocamente. Algunos defienden que nuestra libertad es sólo una ilusión, pero no dan razones

convincentes, por lo que parece que se trata de un prejuicio filosófico. Es cierto que nuestra capacidad de decisión libre es menos amplia de lo que creen los ingenuos, porque estamos muy condicionados por la genética, por la educación recibida y por nuestras vivencias anteriores. Pero es innegable que tenemos bastante libertad de decisión, como comprobamos en cada acción sobre todo si es poco importante. Frecuentemente o casi siempre las acciones voluntarias se basan en una expectativa de futuro, por lo que el hombre es el único ser cuyo comportamiento depende de su pasado, de su presente y en cierto modo de su futuro. En la conducta del ser humano no pueden rechazarse las causas finales, tan denostadas por los científicos.

La peculiaridad única de la mente humana se manifiesta en su vida social, muy distinta de la de los animales. En primer lugar, nuestra vida en común está regida por la moral, que nos indica la diferencia entre acciones buenas o malas; unas u otras normas éticas se encuentran en todas las civilizaciones. En segundo lugar, la organización social depende de la política, que es cambiante pero que también se encuentra en todos los grupos humanos.

Finalmente, el hombre es único también en otros aspectos, de los cuales conviene destacar dos. El primero es la capacidad para apreciar la belleza y de crear obras de arte tanto visibles (pintura, escultura, arquitectura) como audibles (música) o como legibles (literatura). El segundo es la religión que no es sólo un conjunto de normas de conducta sino —y esto es lo más importante— un repertorio de creencias que dan respuesta a las preguntas más profundas que el hombre se plantea en relación con su propia existencia y el origen de cuanto le rodea.

En relación con el presente estudio conviene señalar una vez más los nuevos elementos descriptivos que se utilizan en el estudio de la mente humana. Aunque es difícil separar a los individuos de la especie podemos hacerlo conceptualmente, por lo menos aproximadamente. En este sentido los elementos descriptivos más importantes relativos a cada ser humano son la conciencia (percepción del yo), la inteligencia (capacidad de abstracción, razonamiento lógico y creatividad o inventiva) y la voluntad (libertad de decisión). Considerando un grupo humano los elementos descriptivos principales son el lenguaje simbólico y la cultura evolutiva. Dentro de esta última son especialmente relevantes la moral, la política, la estética y la religión.

El conocimiento de la mente y sus acciones es cada vez mayor debido a los avances de las neurociencias. Estas estudian el sistema nervioso central teniendo en cuenta su bioquímica y los elementos biológicos, tales como las sinapsis, las neuronas, las redes neuronales, los mapas y los subsistemas. Pero los elementos descriptivos que he mencionado anteriormente son nuevos. La aparición de los procesos mentales que éstos describen es un enigma que

probablemente no entenderemos nunca, aunque sin duda conoceremos cada vez mejor los mecanismos cerebrales que los sustentan. Y este conocimiento es utilísimo para el tratamiento de enfermedades mentales y para alterar la personalidad de un paciente. Pero la conciencia y la percepción subjetiva se sitúan en un plano diferente.

Se ha especulado mucho sobre la posible analogía entre el cerebro humano y los computadores electrónicos. Ciertamente es posible programar estas máquinas para que realicen funciones que se tenían por específicas de los seres humanos. Pero la diferencia entre un cerebro y un ordenador es abismal. Por de pronto las redes neuronales funcionan de manera distinta de los circuitos electrónicos digitales; aquellas operan globalmente y estos puntualmente. Por eso el sistema nervioso de cualquier animal —incluso inferior— es cosa distinta de un computador. Además y con referencia al ser humano no hay ninguna razón para pensar que un conjunto de circuitos eléctricos llegue jamás a tomar conciencia de sí mismo; más bien hay motivos para pensar lo contrario. Por último, los computadores son artefactos construidos por el hombre y el cerebro humano es el resultado de un proceso biológico evolutivo espontáneo.

10. La percepción de la realidad

Recordemos que como concepto básico he admitido que es real todo lo que podemos percibir por nuestros sentidos o por nuestra mente y que de algún modo nos afecta o nos puede afectar. Ante esta realidad global caben diversas actitudes o, dicho de otra manera, existen alternativas de percepción de lo real. Esto es comprobable a una escala menor. Un mismo acontecimiento es percibido e interpretado de diversas maneras por diferentes personas que contemplan el mismo hecho con prejuicios muy variados. En la frase anterior prejuicio no tiene sentido peyorativo; prejuicio significa juicio previo y engloba todas las predisposiciones que nos vienen condicionadas por nuestra educación, por nuestra vivencias pasadas e incluso por nuestra voluntad inconsciente de adaptar los hechos a nuestros deseos. La existencia de esta variabilidad interpretativa no debe llevarnos a un relativismo estéril e intelectualmente rechazable si creemos en una realidad objetiva que podemos esquematizar, aunque sea imperfectamente. Personalmente creo en esta posibilidad, aunque no se deduce lógicamente de ningún principio aceptado universalmente.

La percepción que tengamos de la realidad debe ser fruto de la especulación filosófica basada en datos empíricos y en otras ideas de diversas proce-

dencias. Actualmente las ciencias nos suministran datos empíricos elaborados. Podemos designar con el nombre de creencias a las ideas de origen no empírico que contribuyen también a la especulación filosófica sobre la realidad. Nuestro esquema de la realidad debe proceder, por tanto, de la reflexión filosófica sobre las ciencias y sobre las creencias.

Empezaré por las ciencias que son el objeto principal de este ensayo. Recordemos que he definido la ciencia como la descripción y correlación de aspectos de lo real obtenidas por la observación, la abstracción y la lógica. Lo más importante es retener que la ciencia es descripción objetiva de hechos empíricos. La ciencia es el conjunto de las ciencias particulares, cada una de las cuales nos muestra cómo suceden las cosas dentro del ámbito pertinente. Nos muestran el cómo pero no el porqué. No son capaces de más pero tampoco de menos. Y ciertamente son capaces de mucho, como se comprueba comparando una sociedad precientífica con una científica.

Si cualquier ciencia es descripción, los elementos descriptivos que utilice limitan el ámbito dentro del cual dicha ciencia es aplicable. Cuanto más abstractos y generales sean los elementos descriptivos tanto mayor será su ámbito de aplicación. Pero al mismo tiempo será dicha ciencia incapaz de describir los hechos que requieren elementos descriptivos que caracterizan objetos de estudio particulares.

En las páginas anteriores me he referido a diversas ciencias que inciden sobre el objeto de este trabajo. He omitido otras cuyo interés es marginal, como la geología o la astronomía. Veamos las consecuencias que se derivan del análisis de las ciencias que he considerado.

La matemática es la ciencia más general. Sus elementos descriptivos principales son elemento, conjunto, estructura y correspondencia. Son elementos aplicables a casi toda la realidad, aunque no sepamos usarlos en muchos casos. La limitación más importante de la matemática es que no contiene el tiempo. Las verdades matemáticas son atemporales o eternas. Y son tan lógicamente necesarias que muchos piensan que existen por sí mismas independientemente de nosotros. Esta doctrina se conoce como platonismo matemático. No es ésta la ocasión de analizar este atractivo punto de vista.

La física es la ciencia de la materia inerte. Sus elementos descriptivos principales son tiempo, materia, energía e interacción. Son elementos aplicables a todo el mundo material. No son elementos reducibles a los matemáticos. La fecunda utilización de la matemática en la física se debe a que mediante manipulación, a veces muy ingeniosa, podemos establecer una correspondencia entre las magnitudes físicas y los objetos matemáticos. En los casos más frecuentes esa correspondencia recibe el nombre de medida y conduce a números con unidades. Las unidades son esenciales porque indi-

can el contenido epistémico ausente en la matemática. Es característica de la evolución de los sistemas físicos que los estados futuros sólo dependen del estado presente. En algunos sistemas complicados se presentan fenómenos de histéresis que hacen intervenir el pasado. Son casos excepcionales que no invalidan la regla general: en los sistemas materiales inertes sencillos el futuro sólo depende del presente.

La biología es la ciencia de la materia viva. Los sistemas materiales vivos presentan propiedades radicalmente distintas de las que observamos en los sistemas materiales inertes. Decimos que tienen vida y para la descripción de los seres vivos y de los fenómenos vitales necesitamos elementos descriptivos nuevos. Los más importantes son organismo, metabolismo, reproducción y evolución. Todos los mecanismos que ocurren en los procesos vitales son compatibles con la física y con la química pero no pueden deducirse de estas ciencias. Es significativo que el comportamiento futuro de un ser vivo depende del presente y del pasado remoto que lleva grabado en su genoma. Por esta razón y por los elementos descriptivos propios de la biología podemos concluir que los seres vivos no son sólo física y química; son algo más.

La etología es la ciencia que se ocupa de la conducta de los animales con sistema nervioso. Es una parte de la biología que describe fenómenos tan complicados que nos fuerzan a emplear elementos descriptivos nuevos. Los principales son: instinto, memoria, aprendizaje, comunicación y sociabilidad. Los fenómenos asociados a estos elementos son consistentes con la fisiología del sistema nervioso pero suponen una novedad imprevista. El comportamiento futuro de un animal depende del presente, del pasado remoto incorporado en su genoma y del pasado próximo aprendido y grabado en su memoria. En algunos animales superiores se observa una conducta que indica una cierta expectativa de futuro. En la conducta de los animales superiores se observan muchos rasgos que prefiguran la forma de actuar de los humanos.

La psicología es la ciencia del comportamiento humano en su doble vertiente de conducta y conciencia. Los seres humanos constituimos una especie animal única y distinta de todas las demás, incluidas las más próximas. Por eso para describir el comportamiento humano necesitamos conceptos radicalmente nuevos. Los más llamativos son el lenguaje simbólico y la cultura evolutiva. Los más misteriosos son la conciencia, la inteligencia y la voluntad, que tal vez en cierto grado poseen algunos animales pero evidentemente sólo de manera incipiente. Las acciones humanas que describimos con estos nuevos elementos no son incompatibles con ningún principio etológico, biológico, físico-químico o matemático, pero obviamente trascienden a todos. Aunque sólo sea porque únicamente nosotros somos capaces de definir los elementos descriptivos que nos permiten atisbar los diversos aspectos de la

realidad. Otra diferencia notable es que en nuestro comportamiento influyen el presente, el pasado remoto genético, el pasado próximo aprendido y el futuro. Esta influencia del futuro es clarísima entre nosotros. Nuestra vida es siempre un proyecto de futuros más o menos modestos o ambiciosos. La satisfacción de deseos que esperamos conseguir es la motivación más importante de nuestros actos. El hombre que deja de proyectarse en el futuro, muere.

A partir de las consideraciones precedentes es razonable concluir que las ciencias nos permiten acceder a niveles de la realidad diferenciados. La realidad es tan compleja que las ciencias no nos pueden ofrecer un esquema sencillo dentro del cual percibamos la mente humana como consecuencia de las propiedades de las partículas elementales. Estamos hechos de materia pero nuestra mente es algo más, que nos permite describir los aspectos empíricos de la realidad mediante elementos descriptivos que dependen de la complejidad de lo que observamos. Llamo a esto la percepción jerárquica de la realidad, que se puede resumir en pocas palabras. La matemática nos describe rasgos ciertos de una realidad muy mutilada. La física y la química nos describen los rasgos específicos de la materia inerte; son compatibles con la matemática, pero son más que matemática. La biología nos describe los rasgos de la materia viva; son compatibles con las ciencias precedentes, pero son más que los de las ciencias precedentes. La etología nos describe el comportamiento animal, que es compatible con la matemática, la física, la química y la biología fundamental, pero que presenta aspectos nuevos. La psicología finalmente nos ofrece rasgos del comportamiento humano compatibles con las ciencias anteriores, pero que las trascienden sin duda alguna.

Es claro que la percepción jerárquica de la realidad que nos ofrecen las ciencias positivas es incompatible con un reduccionismo ontológico. Otra cosa es un reduccionismo metodológico que es sin duda una vía muy provechosa para adentrarnos en los secretos de la naturaleza. Dicho de otra manera, las propiedades que se observan en un nivel superior no se deducen de las de un nivel inferior, pero el conocimiento de este último es necesario para comprender el nivel superior.

Hasta aquí lo que nos enseñan las ciencias. Pero las ciencias no agotan las vías de acceso a una percepción completa de la realidad. Quedan las creencias, que son a veces anteriores y a veces posteriores a la ciencia. Aunque el objetivo de este trabajo es la percepción jerárquica de la realidad que nos ofrecen las ciencias, no terminaré sin reflexionar sobre las creencias, que constituyen un nivel más elevado que los que hemos considerado hasta aquí.

Una primera creencia es que podemos confiar en la introspección como vía de acceso a realidades no materiales de difícil o imposible comprobación empírica. Por introspección sentimos que somos libres, es decir, que tenemos

una capacidad de decisión, tal vez bastante limitada, pero que nos permite superar los instintos y las presiones externas. Nuestra convicción de la validez de las deducciones lógicas podría estar basada también en la introspección. Creemos asimismo en una cierta universalidad de la introspección por lo que se refiere a la percepción sensorial subjetiva, aunque sabemos que en algunos casos no es así; los daltónicos, por ejemplo, confunden colores que las personas normales distinguen perfectamente.

Otra creencia muy extendida es que el mundo es inteligible. Sin esta creencia caerían por su base todas las ciencias. Desde un punto de vista científico la inteligibilidad significa la posibilidad de descripción mediante las categorías que proceden de la experiencia cotidiana. También es preciso admitir los clásicos principios de identidad, no contradicción y tercio excluso, aunque matizando este último con el principio de complementariedad de Bohr. Muy relacionada con la inteligibilidad del mundo está la creencia en la posibilidad de pasar de la descripción (basada en inducción incompleta) a la predicción de acontecimientos futuros, sea con certidumbre absoluta (mañana se hará de día, por ejemplo), sea probabilísticamente (mañana lloverá).

Hay además otra clase de creencias basadas en nuestra confianza en las personas que nos las transmiten. Creemos en los relatos del pasado que nos exponen los historiadores y en propuestas de futuro que nos presentan los políticos. Aceptamos tradiciones y leyendas..., etc.

Por último están las creencias por antonomasia, que son las creencias religiosas. La religión da respuesta a preguntas tales como: ¿por qué existe el mundo?, ¿por qué evoluciona en una determinada dirección?, ¿y por qué existimos nosotros con nuestra capacidad pensante?, ¿qué valores deben dirigir al hombre en sus comportamientos? Estas y otras muchas preguntas están relacionadas con el misterio que nos rodea. Las ciencias no pueden responder a estas preguntas por principio, porque son descripción de lo que sucede, pero no dan razón del porqué en sentido último. La religión basa sus respuestas en la existencia de un mundo sobrenatural, cuya referencia última es Dios. Existen muchas religiones diferentes. En la civilización occidental la religión predominante es el cristianismo, que admite la existencia de misterios inaccesibles a nuestra mente y al mismo tiempo acepta la revelación como fuente de verdades que nos conviene conocer. No es esta la ocasión para analizar las verdades reveladas y su interpretación a la luz de los conocimientos que nos proporcionan las ciencias empíricas y el pensamiento filosófico. Pero parece oportuno señalar que frente al misterio del cual se ocupa la religión caben tres actitudes: ateísmo, agnosticismo y fe religiosa. Son tres creencias que conducen a percepciones distintas de la realidad total.

El ateísmo niega a Dios y al mundo sobrenatural. Esta creencia de origen

remoto se constituyó en doctrina bastante extendida en los siglos XVIII y XIX. Uno de sus fundamentos es la hipótesis del mundo estacionario. El mundo ha sido siempre como es ahora y lo que todavía no entendemos nos lo aclararán las ciencias empíricas. El problema es que dichas ciencias nos indican que el mundo tuvo un origen y es dinámico. Existe una evolución cósmica a gran escala y, más próxima a nosotros, una evolución biológica. En cuanto a esta última todos los biólogos aceptan alguna clase de finalidad, llámese teleología natural, teleonomía u otra cosa. Por lo que se refiere al origen del universo, sin creación «ex nihilo» los cosmólogos cuánticos han desarrollado modelos matemáticos de universos de espacio, tiempo y materia internamente consistentes y automantenidos que pudieron crearse a sí mismos. Aparte de que la existencia de un esquema matemático no implica la existencia del universo correspondiente, todos esos modelos confunden la nada filosófica con el vacío físico, que es otra cosa. En todas estas explicaciones de la realidad se ve claramente la intención de justificar un ateísmo a priori. Y es que el ateísmo no es producto de la ciencia. Es una creencia.

El agnosticismo es una actitud más respetable intelectualmente. Los agnósticos honrados, que son muchos, estiman que las preguntas últimas no tienen respuesta y orientan su vida basándose en preceptos que les parecen naturales y que frecuentemente proceden de doctrinas que introdujo el cristianismo. La base teórica del agnosticismo es la afirmación de que las preguntas últimas referentes al misterio no tienen sentido. La justificación es que sólo tienen valor las preguntas que pueden responder las ciencias empíricas. Lo cual es también una creencia.

La fe religiosa es una creencia que no se avergüenza de serlo. Los creyentes aceptan un orden sobrenatural que da sentido al complejísimo mundo en el cual estamos. No creen que la armoniosa complejidad de la realidad que nos muestran las ciencias haya surgido de la nada espontáneamente. El hecho de que pudiéramos un día describir científicamente la totalidad de la evolución cósmica y biológica no sería obstáculo para seguir pensando que esta realidad maravillosa que percibimos es un milagro. Y mayor milagro si cabe es que nuestra mente sea capaz de describir ordenada y sistemáticamente la realidad, aunque sea imperfectamente.

Por estas y otras muchas razones la religión ocupa el nivel más alto en la escala de las jerarquías que he propuesto como forma actual de percibir la realidad a la luz de las ciencias. Y a ese nivel más alto sólo se llega plenamente por la fe en la revelación.

Para terminar no he de ocultar que mi percepción jerárquica de la realidad, incluido el factor religioso, se basa en mi interpretación de las ciencias y es por supuesto una creencia.