

## REDUCCIONISMO Y LA UNIDAD DE LA CIENCIA

LUIS JOAQUIN BOYA  
Departamento de Física Teórica  
Universidad de Zaragoza

### RESUMEN

*El objeto de este trabajo es presentar un análisis crítico de la posición reduccionista actual. Sostenemos que la física atómica es la piedra angular de la construcción reduccionista, extendiéndose nuestra ignorancia como un doble cono desde el átomo: ni la física subatómica ni las macromoléculas están suficientemente conocidas aún.*

*Se pasa revista a los diversos éxitos del reduccionismo en química, estructura de la materia, biología y antropología. En general, allá donde el análisis se ha podido profundizar, el éxito del programa reduccionista es completo, pero quedan muchas lagunas, e incluso océanos en las funciones biológicas superiores.*

*Se critica en particular la posición anti-reduccionista del K. Popper.*

### ABSTRACT

*The aim of the present work is to present a critical analysis of the reductionism in modern terms. We maintain the physics of the atom as cornerstone of the construction in reductionism, so that our ignorance is increasing as a double cone both within the atomic nucleus and elementary particle theory, as well as in extended constructs like macromolecules.*

*We review briefly several successes of reductionism in chemistry, solid state physics, biology and anthropology. Whenever the analysis has been pushed far enough, the success of the reductionistic program has been overwhelming; but there remain many lacunae and even oceans of ignorance and non-reductibility in the higher biological functions.*

*We criticize in particular the anti-reductionistic attitude of K. Popper.*

Palabras clave: Reduccionismo, Emergencia, Unidad de la Ciencia, Filosofía de la Ciencia, Programa unitario.

## 1. Acotación del problema

Entendemos por reduccionismo, en general, la posibilidad de explicar unas ciencias por otras; por ejemplo, si la biología se explica por las leyes físico-químicas, es un típico problema reduccionista.

Partimos de la siguiente *definición de Ciencia*: es la aprehensión del mundo fenoménico en un todo racional y coherente. Cada ciencia particular trata de un dominio del mundo de los fenómenos.

El *método científico* es siempre el mismo, a saber:

1) Observación elemental de un fenómeno repetible. 2) Comprobación de regularidades. 3) Enunciación de leyes empíricas. 4) Experimentación de esas leyes (observación provocada). 5) Construcción de teorías que incluyen esas leyes empíricas.

Como los dominios se solapan, las leyes se solapan; se buscan, pues, teorías cada vez más generales que vayan abarcando dominios cada vez mayores; si las teorías conflictan, o se forma una nueva o prevalece sólo alguna de las anteriores.

Al programa de unificación de las Ciencias lo llamamos el programa unitario; evidentemente es un programa (algo a estudiar), es decir, aún no se ha conseguido. El *problema del reduccionismo* es ver si es posible hacerlo, si se ha realizado ya en algún dominio y qué perspectivas futuras tiene.

El problema se sitúa en dos referentes diferentes, el científico y el filosófico. Se trata en el primer caso de establecer la subordinación de una ciencia empírica concreta a otra ciencia empírica concreta, y la respuesta (positiva o negativa) es últimamente científica. El problema filosófico es más general, se plantea ya como posibilidad, incluso en los casos no científicables, y caben y cabrán siempre en él opiniones y escuelas; sin embargo, es un problema genuino, y la claridad científica y el avance de las ciencias pueden plantearlo cada vez de manera más nítida.

En este trabajo nos referiremos casi exclusivamente al problema factual, científico, dejando algunas consideraciones filosóficas para el final.

## 2. Situación actual del problema

Aunque procesos de unificación de ciencias particulares se dan desde hace tiempo (e.g. astronomía planetaria y gravedad terrestre, electricidad y magnetismo o termodinámica y mecánica estadística), la posición *filosófica* arranca con Demócrito: "en realidad no hay más que átomos y un vacío"; pero la pretensión científica no puede considerarse mínimamente válida hasta 1925, cuando la mecánica cuántica dé cuenta satisfactoria de las leyes de la física atómica. Dirac es uno de los primeros entusiastas: "... la nueva mecánica cuántica da cuenta de la mayor parte de la física y de la totalidad de la química".

La filosofía de la Ciencia, que puede decirse arranca de esas mismas fechas (con el positivismo científico del círculo de Viena) se ocupa del problema intermitentemente, pero nunca es un objetivo primario (quizá porque debe ocuparse de otras muchas cosas que parecen más perentorias).

En E. Nagel encontramos quizá la primera acotación filosóficamente seria del problema; Nagel establece los criterios de *derivabilidad* y *conectabilidad* que subordinan una ciencia a otra. En general los filósofos de la ciencia se muestran escépticos frente a la reducción (e.g. K. Popper), y el grupo incluye científicos con tendencia filosófica, como el físico M. Bunge o el biólogo F.J. Ayala.

El autor ha podido constatar en un reciente Simposio que ninguno de los profesores invitados era simpatizante con el reduccionismo. Las posibles causas de la posición general antireduccionista actual se analizarán después.

## 3. El principio democriteo: el doble cono

Aquí vamos a contemplar la cuestión del reduccionismo de manera constructiva: a saber, partiremos del principio democriteo de los átomos, tal como se entienden hoy día, y veremos "como se portan" a la hora de explicar con ellos parcelas cada vez más extensas del mundo observacional.

La metodología a emplear está basada en que ninguna rama de la ciencia actual está acabada; ni siquiera la física atómica. Pero el punto de partida es la explicación que da *la mecánica cuántica de las propiedades de los átomos individuales*. Nuestras afirmaciones (*statements*) son las siguientes:

1) Existe una teoría, la mecánica cuántica no relativista de un número finito de grados de libertad, que sabemos aplicar irrestrictivamente y libre de contradicción.

2) Conceptualmente puede muy bien tratarse de una teoría incompleta, mejorable (Rañada) o modificable (Santos) en el futuro; aceptamos absolutamente los problemas filosóficos y de interpretación que aún contiene, aunque operativamente nos unimos a la interpretación de Copenhague (estando más cerca de Heisenberg-Born que de N. Bohr), animados incluso por la limpieza con que ha pasado los delicados test modernos (desigualdades de Bell: experimentos de Clauser, Aspect, etc.).

3) Aceptamos la provisionalidad de la mecánica cuántica relativista, la incompletitud de la teoría cuántica de campos, y la imposibilidad de fusionar la m.c. con la relatividad general actual.

4) Afirmamos sin embargo que las correcciones relativistas del átomo son pequeñas, y podrían calcularse aproximadamente. De hecho, en los átomos más sencillos (H, He) las correcciones relativistas han sido tenidas en cuenta para lograr el nivel actual de acuerdo teoría-experiencia, que puede llegar a cifras muy altas, e.g. precisión  $10^{-9}$  a  $10^{-8}$  en algunas líneas espectrales del H y precisión  $10^{-6}$  en algunos niveles bajos de He, etc.

5) No ocultamos sin embargo que quedan aún muchas cosas sin precisar incluso en esos sistemas; por ejemplo, la estructura hiperfina del H no ha alcanzado teóricamente la precisión experimental.

6) Imaginamos la Física Atómica como un doble *cono*. Afirmamos que lo que le sigue al átomo en tamaño (moléculas, estructuras cristalinas, líquidos...) debe intentar explicarse en función de lo que ya conocemos de los átomos. Pero afirmamos también que por debajo del átomo existen problemas que se acentúan al disminuir las distancias; y creemos que aquí, por supuesto, hace falta nueva física.

7) El problema reduccionista atómico consiste en estudiar las estructuras multiatómicas incluso con nuestro conocimiento declaradamente incompleto de las fuerzas y constituyentes subatómicos.

8) El programa es, pues, parcial: no abordamos la *reducción* del átomo a las cuatro (o una) fuerza fundamental; o si los protones y neutrones los consideramos como compuestos de quarks, éstos de eones o prequarks, etc.

#### 4. Las leyes del átomo.

El programa democriteo (atómico) replantea la cuestión de las leyes de la naturaleza; lo importante no son las leyes, sino las estructuras, las leyes (macroscópicas) deben *explicarse* por los átomos que componen los agregados. Uno de los aspectos menos generalizados en la crítica al reduccionismo es que, en física atómica, se sustituye el concepto de ley (macroscópica) por el de estructura.

Pero el átomo sí que tiene sus leyes, o como preferimos decir, se rige por una teoría que se presenta con sus postulados (o axiomas), a saber, la mecánica cuántica. Además, hace falta el electromagnetismo. Tenemos pues un triple entramado de *condiciones de partida* para nuestro programa.

1. *Los constituyentes atómicos*. Protones, neutrones, electrones como *building blocks*; más de dos *cuantos de radiación*, fotones y neutrinos.

2. *Las fuerzas* son la electrostática (Coulomb), y sus aspectos magnéticos (spín) y de radiación subsidiariamente. Excepcionalmente la *fuerza débil neutra* (como en los experimentos de violación de paridad en átomos) o la *fuerza nuclear* (en los efectos de tamaño nuclear finito) pueden invocarse.

3. *La mecánica* es la m.c. como la hemos acotado más arriba, con una "cucharadita" de relatividad especial aquí y allá.

#### 5. El nivel cero: espectroscopia y física atómica

Se abre la sesión; comienza el programa. ¿Cuál es el estado de la física atómica?. La llave que ha permitido desentrañar los misterios del átomo es la espectroscopía, así que no debemos extrañarnos de que en este dominio el "acuerdo entre teoría y experiencia" es realmente espectacular. Pero aquí deseamos ser cuantitativos. ¿Con qué precisión la teoría predice las líneas espectrales -todas las observadas- de un átomo complejo?. El autor no es suficientemente competente para dar una respuesta exacta, pero ya hemos señalado la precisión 1:  $10^{+8}$  en algunas líneas del H, la precisión 1:  $10^{+8}$  en la energía de ionización del helio, la precisión 1:  $10^{+6}$  en algunos niveles del mismo, etc.

Podemos agregar que para los elementos de la primera serie corta (Litio al Neón), se conoce su espectro con precisión de la milésima o mejor. Los espectros de los elementos de la serie larga (e.g. el hierro) o muy larga (e.g.

Lantano o Uranio) se conocen mucho peor. Hay probablemente casos de anomalías o inversión de términos aún no explicados. La estructura fina se conoce muy inexactamente, etc.

Es evidente que el programa es muy incompleto aún, y en ese sentido un escéptico puede decir que lo que aún no se ha calculado, no se sabe si va bien o mal. Desde luego la ciencia es ciencia y no profecía. Pero no cabe duda que una extrapolación del esfuerzo hecho proyectado hacia el futuro permite racionalmente predecir que es cuestión de tiempo y de interés mejorar decisivamente la concordancia.

¿Son las líneas espectrales lo único que la teoría debe predecir, en relación con los átomos?. En absoluto, incluso las propiedades de los átomos más importantes en relación con el siguiente nivel de complejidad, las moléculas, no son las espectroscópicas. El tamaño del átomo, la distribución electrónica de las cargas, la afinidad química, es lo que importa. Y aquí hemos de decir que nuestro conocimiento *teórico* es demasiado incompleto. Las propias probabilidades de transición se conocen muy fragmentariamente, tanto teórica como experimentalmente.

Cabría decir mucho más aquí; pero como no parece que sea seriamente disputado el hecho de que nuestros postulados 1) 2) y 3) *expliquen* satisfactoriamente la física atómica, pasamos al siguiente nivel, donde se plantean problemas más interesantes.

## 6. Nivel uno: reducción de la química a la física.

Algunos triunfos claros de la subordinación de la química a la física deben apuntarse de entrada: la estructura electrónica de los átomos, en virtud del principio de exclusión, predice directamente el comportamiento químico de los elementos, e.g. el hecho de que el sodio es un metal monovalente o el oxígeno un metaloide divalente. Kossel (1918), Bohr (1922) y Stoner (1924) establecieron las bases cuánticas de la química, pero es el fundamental trabajo de Heitler y London (1927) con la nueva mecánica cuántica, el que explicó satisfactoriamente el enlace genuinamente químico, el llamado enlace covalente. El libro de L. Pauling (*The nature of Chemical Bond*, 1935) es un precioso y temprano estudio de la interpretación mecano-cuántica de los compuestos químicos; especialmente importantes son a) el carácter continuo de la transición enlace covalente-enlace iónico, b) los *dobles enlaces* del benceno y c) el puente de hidrógeno. La resonancia electrónica, un fenómeno genuinamente cuántico (Heisenberg, 1926) juega un papel decisivo en la explicación de las tres cuestiones.

¿Es esto todo? Se repite la cuestión de los átomos y sus espectros; es decir, hay muchas propiedades que estudian los químicos aparte de los enlaces. La pregunta brutal es la siguiente ¿Han sido explicadas (es decir, calculadas o predichas) las propiedades de los compuestos, tales como estado de agregación, punto de fusión, conductibilidad, constante dieléctrica, capacidad calorífica... etc.?,

La respuesta es un enfático no, y en ese sentido la química no ha sido, en modo alguno, factualmente *reducida* a un capítulo de la mecánica cuántica aplicada.

Pero la pregunta se puede *dulcificar*. Entre los conceptos cuantitativos que maneja la química, ¿hay algunos para los que no haya al menos un modelo simplificado de explicación en que ese concepto aparezca como consecuencia de propiedades bien establecidas al nivel atómico? Creemos que la respuesta también es no: es decir, no hay -que sepamos- conceptos químicos *inexplicables* en sentido reduccionista; otra cosa, naturalmente, es el cálculo teórico cuantitativo. El propio caso de la molécula de hidrógeno,  $H_2$ , es muy incompleto; y estamos muy lejos de calcular teóricamente a qué temperatura funde el hierro, o cual es la constante dieléctrica del butano...

Nos parece sencillamente superfluo presentar más argumentos a favor de la reducibilidad en principio (es decir, potencialmente en todos los conceptos y factualmente en unos pocos) de la química a la física atómica, a no ser que tengamos en cuenta la obstinada oposición de Popper, para quien la química en modo alguno se ha reducido a la física.

Los dos argumentos de Popper son de tipo histórico, relacionados con lo incierto del origen de los elementos por nucleosíntesis. Pero este es un problema de astrofísica -por lo demás bastante claro hoy día- que no tiene nada que ver con nuestro planteamiento: ver si las propiedades de los compuestos químicos que observamos hoy día, no su historia, se explican por las propiedades que la mecánica cuántica atribuye a los átomos. Cuando Popper advoca además la incompletitud de la teoría de las partículas elementales para recabar *irreducibilidad* a la química, lo que dice es: la física del microcosmos está incompleta, luego la química no está explicada (i.e. reducida a la física). Para nosotros esto es un *non-sequitur*, como explicamos con detalle en *nuestras condiciones iniciales*.

Naturalmente que Popper toca un punto importante, que a mí me gusta enunciar así: ¿cómo podemos saber algo sin saberlo todo? Pero nos llevaría muy lejos extendernos sobre esta cuestión, más filosófica que factual.

Para terminar con el tema de la química queremos recordar, brevemente, cómo se aplica el programa democriteo a la formación de agregados, es decir, cómo funciona el siguiente nivel de complejidad, después del atómico.

Los átomos forman moléculas compartiendo los electrones de las capas incompletas. La deslocalización de los electrones disminuye la energía dando configuraciones estables (e.g. la molécula del cloro). El tamaño, la energía de disociación, la actividad química remanente, etc., pueden comprenderse semicuantitativamente; pongamos un ejemplo anómalo: ¿Porqué el agua es líquida a temperatura ambiente?. La pregunta es interesante, pues atendándose a su peso molecular solamente, pensaríamos que fuese vapor. La respuesta, conocida desde los años treinta, es que el enlace H - O - H se establece con una distribución desigual de electrones, por lo que la molécula de agua es un dipolo eléctrico, siendo la fuerza de atracción entre dipolos más intensa que las fuerzas (de van der Waals) de atracción p. ej. entre dos moléculas de cloro, que no son dipolares

La *química cuántica* es una disciplina bien desarrollada que estudia estas cuestiones *ab initio* y hoy se obtienen resultados cuantitativos muy precisos.

Podríamos también hablar de las macromoléculas de la química orgánica. Estamos ahora empezando a entender la estructura terciaria y cuaternaria de las proteínas, y ya sabemos que sus conformaciones se estabilizan por las atracciones y repulsiones de sus restos aminoácidos, cosas bien conocidas y explicadas según el carácter v.gr. alcohol, ácido alifático, etc. de dichos restos. No entramos aquí, sin embargo, en problemas de biología molecular, pues reservamos esto para más adelante.

Resumiendo, las moléculas están compuestas de átomos, y entendemos bien todas las propiedades de aquellas en función de éstos; tenemos teoría generales de la afinidad, de las reacciones químicas, de los compuestos de carbono, etc. basados rigurosamente en la física atómica cuántica, y con buen acuerdo cualitativamente y, en muy pocos casos, cuantitativamente con la experiencia....

## **7. Un problema mal planteado: termodinámica vs. mecánica estadística**

Como ejemplo *perfecto* de reducción se presenta por algunos (e.g. M. Bunge) la "reducción de la termodinámica a la mecánica estadística". Otros en cambio (quizá el propio Popper) lo niegan.

Desde luego, en la primera página de todos los libros de mecánica estadística (e.g. Huang) se puede leer que "el objetivo de la mecánica estadística es la deducción de las leyes de la termodinámica a partir de los constituyentes elementales de la materia". Y así fue, desde luego, concebida por sus fundadores (Maxwell y Boltzmann), es decir, al contrario de otras ramas de la física, la mecánica estadística nació con un objetivo reduccionista claro.

Y, sin embargo, nosotros creemos que ello encierra un problema mal planteado. Pues la termodinámica es una ciencia ideal, no una ciencia concreta, que trata de gases ideales, transformaciones reversibles infinitamente lentas, límite de volumen infinito, etc. y lo que nosotros proponemos en este programa restrictivo es deducir las propiedades *reales* (es decir, concretas, de laboratorio, experimentales) de la materia.

Pero filosóficamente, la cuestión sí que es interesante, pues toca un problema: descubrir las cualidades macroscópicas, intuitivas, de experiencia y aprehensión inmediata, a partir de los constituyentes. Aquí se muestra el programa democriteo en todo su esplendor. ¿Son la dureza, el calor, la temperatura, la densidad, la conductividad, los estados de agregación, la entropía, conceptos explicables?.

El proceso reduccionista ocurre aquí en dos etapas, con éxito parcial en ambas; en primer lugar, del comportamiento macroscópico se extraen primero los conceptos termodinámicos fundamentales (como temperatura o calor de vaporización) y se intentan explicar o reducir a la microfísica; por ejemplo, para un gas *perfecto* la temperatura es una medida de la energía media, y la entropía es una medida del *desorden* molecular.

En una segunda etapa lo que queremos es *explicar* el diagrama de fases del Helio tres! Y aquí estamos mucho más en mantillas; en especial, sólo recientemente empezamos a entender los cambios de fase (teoría de los exponentes críticos; Wilson, 1974), y aún no al nivel molecular. Tenemos una idea *vaga* de porqué el helio *cuatro* es superfluido si muy frío, pero no una teoría cuantitativa.

Nuestro pensamiento es: la tan cacareada reducción de la termo a la mecánica estadística no es ni necesaria ni suficiente para el verdadero problema, aunque metodológicamente resulte muy útil y en cierto sentido se haya conseguido, (aunque queden cuestiones como el caos molecular, la hipótesis ergódica, etc. no totalmente resultas a mi entender).

Haciendo la pregunta más débil, por ejemplo, ¿ Hay algún fenómeno macroscópico claramente delimitado, en el dominio de la materia inorgánica, para el que la teoría atómica no tenga, en principio, una respuesta?

Lo bonito es que la respuesta es histórica: pues hasta 1957, la respuesta era: "Sí, la superconductividad", fenómeno para el que la teoría estaba completamente a ciegas; pero hoy sabemos que el problema, en principio, está resuelto (teoría BCS). Aún así, estamos muy lejos de predecir la temperatura crítica de un superconductor.

De todos modos, en mecánica estadística queda mucho por hacer, y no digamos en la predicción de las propiedades de la materia, en particular en las estructuras sólidas. El hecho de que se publique más en física del estado sólido que en todo el resto de la física, es bien significativo.

## 8. Reduccionismo en biología

Es aquí, sin duda ninguna, donde se libra la batalla principal. ¿ Son los seres vivos *morfos* para los que la teoría atómica responde como responde de la molécula del benceno?.

La cuestión está cargada de ideología, el programa está lleno de trampas, y no es fácil orientarse. Nosotros vamos a hacer una aproximación al tema gradual, *atómica*.

Ante todo, el reduccionismo *ontológico*. ¿Hay algún ente constitutivo en los seres vivos que no aparezca en los niveles inferiores de organización?. Históricamente se ha pensado que sí en la antigüedad, e.gr. el *alma* vegetativa, sensitiva o intelectual de los escolásticos, o la *fuerza vital* del s.XVIII o las concepciones de Driesch o de H. Bergson.

Digamos como respuesta directa que los avances de la biología han ido relegando el *principio vital* a algo cada vez más innecesario y más inobservable. Hay unos cuantos hitos en la historia de la biología y en particular de la bioquímica que deben señalarse al respecto.

1) En 1826 Wohler sintetizó la urea a partir de compuestos inorgánicos, dando al traste con la teoría de que la química orgánica trataba con sustancias distintas de la inorgánica.

2) En 1917 T.H. Morgan presenta el mapa genético de la mosca *Drosophila*, acabando un programa cuantitativo en genética iniciado por Mendel (1865).

3) En 1935 Stanley cristalizó el virus del mosaico del tabaco; el cristal redisuuelto volvía a ser infeccioso.

4) Desde el descubrimiento de Watson y Crick (1953), del mecanismo molecular de la reproducción, pasando por todos los avances de la biología molecular moderna, puede decirse que los mecanismos biológicos fundamentales de los seres vivos más pequeños se conocen al nivel atómico-molecular. En particular, el enlace de hidrógeno juega un papel fundamental en la reproducción biológica, como ya imaginó L. Pauling en los '30.

5) W. Fierz en Lieja ha leído (1976) completamente el genoma de un virus, el MS2. Desde entonces se ha desentrañado completamente la estructura molecular de una docena de virus incluyendo el SIDA, la viruela y la polio. Recientemente (1987) se ha leído el genoma de la bacteria *E. Coli*, con su casi millón de nucleótidos.

6) Ptahsne (1981, 1985), ha presentado los primeros modelos mecánicos de control proteínico de la expresión genética (hipotetizados por Monod (1962) con la teoría del operador-represor.

7) Las primeras imágenes por rayos X de proteínas complejas están empezando a revelar, en su estructura cuaternaria, la relación: disposición espacial- función química (enzimática).

¿Qué se deduce de todo esto? Ante todo, que el programa reduccionista en biología es factible, es decir, allá donde la simplicidad del problema ha permitido un análisis cuantitativo exhaustivo, la naturaleza ha rendido sus secretos. El autor en particular atribuye significación especial al hecho de haberse podido leer el genoma mitocondrial y también el de la bacteria *E. Coli*, y el otro hecho que queremos destacar es la explicación molecular de la reacción inmunológica, también muy reciente.

Pero aumentando el nivel de complejidad, pasando de virus a bacterias, de éstas a levaduras, a protozoos y luego a animales y plantas multicelulares, hemos de reconocer con humildad nuestra ignorancia, sobre todo en la descripción físico-química de las *funciones* características de los seres vivos.

Queremos aquí enfocar el problema desde un punto de vista que podríamos llamar *emergentismo metodológico*; es decir, abstraemos de los

seres vivos ciertas propiedades claramente distinguibles (pero en general muy difíciles de una definición precisa) y nos preguntamos por su explicación posible en términos de mecanismos físico-químicos conocidos, sin que *to explain* quiera decir *to explain away*.

La lista puede parecer interminable, y seguro que cada autor haría la suya; una muestra podría ser la siguiente.

Nutrición, reproducción, conocimiento, morfogenésis, adaptación, mutación, evolución, coordinación, reconocimiento de patrones, memoria, transmisión nerviosa, relación predador-presa, imaginación, los sueños, egoísmo y altruísmo, capacidad de abstracción, emociones, capacidad artística, excelencias éticas...

Bien poco podemos decir de casi todo esto en términos bioquímicos, aunque el programa reduccionista pretende por supuesto abordarlas todas, y más que aún no hemos puesto. Vamos a dar una estimación completamente subjetiva del grado de dificultad que esperamos encontrar, lo que puede indicar más o menos el tiempo que tardará en resolverse el problema; naturalmente, aquí vamos a utilizar los aspectos proféticos de la ciencia y una buena dosis de *wishful thinking*.

Ponemos la *morfogénesis* como el problema más próximo, pero aún no elementalizable. En concreto, se han de descubrir los relojes biológicos que determinan el momento preciso en que se desarrollan los diversos órganos de un ser vivo nuevo. El español-García Bellido es el autor de los primeros modelos en este sentido.

La *evolución* es nuestro problema siguiente, en el preciso sentido que exponemos:

Si bien el esquema general Darwin-Mendel-Morgan está sin duda en la base, falta la definición fisicoquímica de *especie*: porqué en el curso de la aparición de las mutaciones, se encuentran ciertas *cuencas de estabilidad*, con formación de especies, y muy pocos individuos con caracteres interespecíficos. El problema puede no estar muy lejano en algunos casos concretos.

En los animales superiores una propiedad claramente emergente para la que no hay un modelo molecular (ni siquiera neuronal) mínimamente realístico es la *memoria*. El problema es especialmente agudo puesto que la tecnología de memorias artificiales está muy desarrollada en nuestros ordenadores; pero no tenemos ni idea ni siquiera de si el circuito biestable (on-off) es el modelo para el cerebro.

Una cuestión que se plantea a menudo es si el indeterminismo (cuántico) se va filtrando por las ramas del árbol biológico hasta llegar a ser el fundamento del *libre albedrío* humano. No tenemos fundamento científico para pronunciarnos, pero mientras tanto el autor cree (al contrario de N. Bohr) que no.

Resumamos la implementación del programa unitario en biología - dejando ciertos problemas antropológicos para después- en unas cuantas frases:

1) Los seres vivos se *organizan* en una serie de estructuras de complejidad creciente, tanto en el tiempo (evolución) como en el espacio: células, tejidos, órganos, sistemas, individuos, sociedades...

2) Los *constituyentes* de los seres vivos se conocen bastante bien al nivel molecular, y utilizan frecuentemente estructuras repetitivas; los materiales universales son:

RNA, DNA, proteínas, azúcares, grasas, iones metálicos, y otros en menor cantidad.

La físico-química de esas sustancias está completamente dominada, excepto algunos casos de gran complejidad (e.g. estructura cuaternaria de las proteínas poliméricas, efectos de largo alcance en el DNA, etc.)

3) El mecanismo fundamental de estabilidad, reproducción y propagación de los seres vivos está entendido el nivel molecular (salvo detalles de la acción de las enzimas): es lo que se llama el *dogma central* de la biología.

4) Nuestra comprensión de las funciones biológicas disminuye al aumentar la complejidad de éstas; entendemos algo de la transmisión nerviosa o la contracción muscular; pero poco de la morfogénesis y nada de memoria.

5) Es bueno un *antireduccionismo metodológico* al abordar estos problemas. Con esto quiero decir: deben primero conocerse las leyes empíricas que encierran el comportamiento superior, para lo cual la físico-química es quizás lo menos adecuado. Puede ser más útil la teoría de sistemas, la de la información, o la teoría del caos; después vendrá el momento de la explicación *última* por los constituyentes.

6) Queda muchísimo por hacer (en el reduccionismo en biología); casi todo. Y será una labor ardua, y en muchos casos poco *rewarding*.

Queremos señalar por último que el programa unitario se enfrenta en biología, como dominio de lo muy complejo, ante un problema metodológico casi insoluble: el de la descriptibilidad. Pues puede demostrarse fácilmente que la información exhaustiva que encierra un ser vivo medianamente complejo -digamos una mosca- es inconmensurable, y además inútil; si un gigantesco *output de computer* nos diera la situación de los cuatrillones de átomos de una mosca, ello no nos diría probablemente si está volando, o si nos ha picado. Este programa está condenado al fracaso; podemos hacerlo y es útil con una proteína o hasta con el DNA humano, pero dudo mucho de que con una célula de ameba sea posible o interesante.

El programa aquí debe reconducirse; al fin y al cabo, es el *hombre finito* el que pretende entender. Debemos por tanto contentarnos con extraer del comportamiento biológico *todas* sus bases empíricas e intentar deducir éstas de la estructura química. Podemos especular con que la biología del próximo milenio *experimentará*, al modo que los físicos llaman de Monte Carlo, con la formación de los seres vivos: se podrán sintetizar organismos construyendo artificialmente cadenas de DNA lo más parecidas posibles a las reales, y modificando aquí y allá ver qué nuevos *Frankenstein* producimos; pero mucho me temo que las fuerzas reaccionarias de la sociedad impidan ese programa en toda su extensión; el hombre es un ser miedoso y puede incluso tener miedo de conocer....

## 9. El nivel último: la conciencia

Si hemos confesado nuestra ignorancia en cuestiones biológicas primarias, como por ejemplo la morfogénesis, ¿Cómo abordamos unitariamente el problema de la conciencia humana?

No vamos aquí a presentar ningún éxito reduccionista; sencillamente, no los hay (en el conocimiento del autor). Sólo podemos repetir lugares comunes. 1) Que la sede de las funciones superiores está en el cerebro; 2) Que los hombres descienden de los monos, y que por lo tanto la hominización tiene una base evolutiva clara; 3) Que la explicación atomista de la *espiritualidad* tiene que venir de las conexiones interneurales, por exclusión; 4) Que algo conocemos sobre el aprendizaje y el desarrollo cerebral; 5) Que tanto la memoria o las funciones superiores (como la imaginación, la creación artística o la capacidad de abstracción) presentan aspectos que desafían todo intento actual de modelización; sólo podemos decir que tienen una fase cromosómica puesto que hay casos claros de herencia.

Aquí sólo cabe un acto de fe: también a primera vista aparece la materia como continua, y es atómica y discreta, y los seres vivos aparecen como con un *clan vital*, y no hay ninguno. Tengamos fe en la ciencia, como en el famoso reproche de Renan a los cristianos: vosotros sois los incrédulos (que no creéis que la ciencia lo puede explicar todo). Como se ve, el autor pasa aquí de profeta a apóstol, con un tufillo de Comte que el más espabilado descubrirá.

## 10. Resumen: El reduccionismo como un programa de investigación

Utilizamos aquí el concepto de *programa de investigación* en un sentido un poco diferente del de Lakatos; queremos significar algo que se está haciendo; algo que comenzó con Demócrito, que ha cubierto un cierto trecho, que tiene unos métodos y unos objetivos muy claros, y que hay que proseguir.

El programa es algo vivo, que se ha reconducido y será sin duda reconducido en el futuro. Ya hemos aprendido que no todo se reduce a la mecánica o a la electricidad; el énfasis está más en la estructura (atómica) que en las leyes; no queremos tanto unificar las fuerzas como dar una visión atomista unitaria del cosmos. Pero, lo hemos dicho bien claro al principio, la reducción del átomo y en particular el estudio de la física subnuclear es una parte bastante inconexa del problema, pues hemos aprendido, o así lo creemos al menos en el momento actual, que las fuerzas no eléctricas juegan un papel despreciable en el mundo macroscópico normal. Así pues, no vale la excusa -que leo en Popper por ejemplo- de que la química no ha sido reducida a la física porque ha surgido la física nuclear, desde 1930.

Surge la cuestión, desde luego, de la *durabilidad* de nuestras conquistas actuales; es decir, para ponerlo en forma punzante ¿no sería posible que la imagen futura del mundo, digamos a mitad del próximo milenio, fuese radicalmente diferente de la que poseemos hoy? ¿De que valdrían entonces nuestras consecuciones reduccionistas actuales?... Al fin y al cabo, aquí hemos señalado 1927 como la fecha en que comienza un programa reduccionista integral y realista, es decir, hace sólo sesenta años...

No sé exactamente qué responder a estos interrogantes; no tengo tanta capacidad profética. Cuesta mucho creer que las propiedades de una barra de hierro se puedan explicar de una manera radicalmente diferente a un conglomerado de átomos que comparten electrones de las capas 3d y 4s, lo que produce el enlace metálico y las propiedades de dureza, cohesión, densidad, etc.

que observamos, pero la posibilidad no puede excluirse radicalmente. Ya veríamos entonces....

Pues hay algunas características del programa reduccionista que las vemos tan enraizadas con los principios del método científico, que parecen -a mí al menos- inapelables. Se trata de explicar, de comprender; si lo grande está compuesto de lo pequeño, comprender quiere decir relacionar las propiedades de lo grande (lo nuevo) con las de lo pequeño (y más conocido por más simple); y esto es la esencia del programa reduccionista atómico. Si hay propiedades emergentes -que las hay- no "creemos nuevos entes sin necesidad" (Occam), es decir, sin agotar el análisis constitutivo. ¿Cómo puede ser de otra manera?.

## 11. El problema filosófico

La filosofía de la ciencia actual ha desenmascarado muchos prejuicios que la investigación científica posee, y que se expresan en frases grandilocuentes como "búsqueda desinteresada de la verdad", "absoluta objetividad", interpretación "objetiva" de los experimentos, independencia de condicionantes históricos, sociales o ideológicos, etc.

En este párrafo queremos en primer lugar desenfundar nuestra ideología, es decir, intentar explicar los fundamentos filosóficos de nuestra actitud reduccionista integral, y después pasar revista somera a los puntos de vista ideológicamente opuestos.

Nuestra posición se resume así: el mundo es comprensible; es decir, el método científico aplicado a la coordinación e interrelación de nuestras sensaciones es exitoso. En segundo lugar, comprender es un escalón más fundamental que explicar: la explicación es el cómo, la comprensión más bien el porqué; y por último comprender es reducir: lo complejo a lo simple, y sus fuerzas; las moléculas a sus átomos y a las fuerzas de equivalencia de van der Waals. El programa parece paradójico, puesto que conceptos primitivos -como el amor entre los sexos- son más fácilmente enunciables que la molécula de azúcar, infinitamente más sencilla que las materialidades que intervienen en el acto del amor. Pero ello es antropocéntrico. El cielo azul o un río fluyendo también producen en nuestra mente una imagen inmediata y mucho más sencilla que la ley de Rayleigh o los teoremas de Bernouilli; y sin embargo los segundos *explican* mientras que los primeros enumeran...

Pasemos a comentar brevemente la posición actual en filosofía de la ciencia, que no parece demasiado reduccionista. El ejemplo de Karl Popper es paradigmático, pero habría también otros; Popper declara, no sólo que no se

ha realizado *de facto* ninguna reducción, que siempre queda un *reducto* irreductible, sino que filosóficamente el camino es errado.

Nosotros decimos de Popper lo mismo que él dice del reduccionismo: que aunque no estemos de acuerdo con él, dice muchas cosas interesantes que se pueden aprovechar. Por ejemplo, que los intentos reduccionistas han sido continuos, y todos han fracasado: reducción de unos números a otros en matemáticas, o en física de todo a la mecánica, o de todo a ondas: o reducción de la química a la física.

La lección es aquí que, en efecto, ciertos programas reduccionistas han fallado, pero no el correcto, la reducción atomística. Ya hemos comentado el escrúpulo de Popper sobre la química: dice que el año 1932 marcó el máximo del reduccionismo, pero que el mundo de las partículas elementales ha estropeado el programa. Mi teoría del doble cono (3) fija mi posición en este punto, y a él me remito.

Popper se apunta otro gol en el reduccionismo filosófico: dice que no es conveniente, que es incluso un error: "El reduccionismo filosófico es, creo yo, un error. Es debido al deseo de reducirlo todo a una explicación final en términos de esencias y sustancias, esto es, a una explicación que ni es capaz de ninguna explicación ulterior, ni la necesita". El punto bueno que veo aquí es la denuncia del esencialismo, con sus tufillos de metafísica. Con respecto a la explicación *final* en términos de esencias sin capacidad de explicación ulterior, es justo lo contrario: es la eliminación de conceptos ónticos nuevos cada vez que se atraviesa un nuevo umbral de complejidad, lo que caracteriza la esencia misma del reduccionismo. Y ya hemos dicho que no está a la vista el final: el doble cono se extiende en el mundo subnuclear de manera cada vez más compleja e inexcutable...

## BIBLIOGRAFIA

- 1 AYALA, F.J. y DOBZHANSKI, T. (eds) (1983). *Estudios sobre la filosofía de la biología*, Barcelona, Ariel.
- 2 VAN DER MERWE, A. (ed) (1983). *Old and new Questions in Physics*, (W. Yourgrau Festschrift) New York, Penum Press.
- 3 POPPER, K. (1972). *Conjectures and Refutations*, London, Routledge.
- 4 PEACOCKE, A. (1986). *God and the new biology*, London, Dent.
- 5 BOYA, L.J. (1984). *Sobre el problema del reduccionismo*, en M. Hormigón (ed.) *Actas II Congreso de la S.E.H.C.* (Jaca, 27 de septiembre - 1 de octubre, 1982), Zaragoza, S.E.H.C., vol I, p. 343-349.
- 6 NAGEL, E. (1962). *La estructura de la Ciencia*, Buenos Aires, Paidós (ed. original de 1961, New York, Harcourt).