

LA FÍSICA Y LA BIOLOGÍA: DOS DISCIPLINAS QUE CONVIENE CONECTAR

Arturo M. Baro Vidal

*Catedrático de Física de la Materia Condensada
Universidad Autónoma de Madrid*

CIENCIAS DE LA NATURALEZA

Quizás una de las aportaciones más importantes de Aristóteles fue la de dar nombre a la disciplina conocida desde entonces como física. Porque, como es sabido, la física deriva de la palabra griega *φυσική*, que significa naturaleza. La sugerencia está llena de sentido, porque las leyes físicas no establecen diferencias entre naturaleza viva y no viva, con lo que se puede imaginar que todas las ciencias naturales pueden reducirse a la física.

En realidad, la contribución de Aristóteles, si bien muy importante para el pensamiento humano de la época, fue equivocada en cuanto al estudio de los fenómenos propiamente físicos, como lo muestran sus ideas sobre el movimiento de los objetos terrestres y cuerpos celestes. La concepción de Aristóteles queda ilustrada en el libro de Galileo “Diálogo sobre el gran sistema del Mundo” publicado en 1632 en Florencia y en donde muestra el “principio de relatividad de Galileo” (1).

Sin embargo, no está tan claro que la Sociedad entienda que las Ciencias Naturales se refieran a la física; de hecho, uno no espera ver aparatos de física en un Museo de Ciencias Naturales. En el de Madrid, íntimamente ligado a la historia de la Ciencia en España, existe una gran colección de animales disecados, y secciones sobre el origen y la evolución de la Tierra y los seres vivos. Es cierto, no obstante, que la naturaleza está profundamente introducida en la conciencia del hombre, y adoptando este punto de vista podemos considerar que la cultura humana es parte de la naturaleza.

UNIFICACIÓN Y DIVERSIFICACIÓN

Actualmente, se puede afirmar que la tendencia general de la Ciencia es hacia la unificación. Esta afirmación habría que tomarla como un desideratum, y no necesariamente como una realidad. Es lo que ocurre en muchas parcelas del pensamiento humano. Es decir, que existen problemas reales en este camino, y esto se ve en la vida cotidiana de los ambientes universitarios, científicos y técnicos. Como polo opuesto a la unificación, está la diversificación.

Un ejemplo claro de diversificación es la estructura, por ejemplo, de las facultades de Ciencias, normalmente divididas en Matemáticas, Física, Química, Biología y Geología. Es más, incluso dentro de una de las ramas, tenemos las áreas de conocimiento y/o los distintos Departamentos. Existe una causa razonable que justifica tal cantidad de materias, y ésta es la inmensidad del conocimiento humano acumulada durante tantos años de estudio. No se puede abarcar todo, no tiene sentido el enciclopedismo, y hay que especializarse.

Este punto es cierto, y contradictorio con la idea de unificación; pienso que justamente el intentar resolver esta situación, con la que algunos, entre los que me incluyo, no se encuentran cómodos, es lo que da sentido a la existencia de esta revista “Encuentros Multidisciplinares” promovida por Jesús Lizcano.

REDUCCIONISMO Y EMERGENCIA

Entre las varias disciplinas científicas, se puede establecer una división entre ellas basada en la idea de cuál es más fundamental. Este esquema parte del hecho que la biología estudia por ejemplo, las

célula; la máquina celular contiene moléculas más o menos complejas, y las moléculas son agregados de átomos cuyo comportamiento se explica por las leyes del electromagnetismo (EM) que rigen la interacción entre los electrones exteriores y la carga positiva del núcleo del átomo; además por el tamaño de los objetos atómicos, hay que aplicar la física cuántica, en particular, el principio de exclusión de Pauli.

Al final llegamos al átomo y a una de las cuatro interacciones básicas de la física, o sea la EM, la única relevante en el estudio de las moléculas. Este esquema, que se suele denominar “reduccionismo” (2), porque al final todo se reduce al conocimiento de las leyes fundamentales, ofrece todavía muchas posibilidades de investigación para el físico, como son la búsqueda de las partículas constituyentes de la materia, y el sueño de una teoría final de la que se deriven las cuatro interacciones básicas.

Aunque un físico con el esquema reduccionista, pueda vanagloriarse de comprender lo fundamental de todos los fenómenos, en mi caso concreto y en el de otros muchos, cuyo objetivo no es investigar lo que queda de lo descrito en el párrafo anterior, el reduccionismo resulta frustrante porque está claro que la interacción EM está perfectamente descrita en los libros de texto, y hay poco que arañar.

Existe otra visión alternativa, que se suele denominar proceso de “emergencia”, según el cual el mundo físico está compuesto de niveles autónomos, y cada nivel contribuye a la emergencia de nuevos fenómenos. Naturalmente, en mi caso esta idea ofrece mayores alicientes, y existen numerosos ejemplos de que además se corresponde con la realidad. En el campo de la física del estado sólido, por ejemplo, si bien está claro que los sólidos están compuestos por átomos, hay propiedades como la superconductividad, sin ir más lejos, que hay que interpretar como resultado de un proceso de emergencia. Podríamos usar la famosa frase de Engels, la cantidad se convierte en calidad, para entender de dónde procede el nivel de emergencia.

Me interesa destacar aquí, otro concepto que está relacionado con el ejemplo anterior pero que está formulado en términos de lo sencillo y lo complejo. Está extraordinariamente bien descrito en el famoso libro de Murray Gell-Mann “El quark y el jaguar. Aventuras en lo simple y lo complejo” (3). La complejidad tiene valor añadido, podríamos decir. Por ejemplo, si tomamos el caso de un gas perfecto constituido por moléculas libres, en cuanto permitimos que exista una interacción atractiva y pierde su carácter perfecto, aparece un fenómeno nuevo, a saber, la transición de fase gas-líquido.

Esta idea no sólo se aplica a la física, sino también a la biología. Está claro que en el cerebro existe un comportamiento que no se encuentra en las neuronas individuales. Luego la idea de complejidad es general, aunque el nivel de complejidad es diferente en cada caso, y éste es un argumento delicado que no se puede precisar en el contexto de este artículo.

LA FÍSICA Y LA BIOLOGÍA

Si comparamos a físicos y biólogos, existen algunos aspectos similares y otros que son diferentes. Los aspectos similares se refieren al interés que unos y otros tienen por ambas disciplinas en aquellos temas de divulgación y de carácter general que se pueden encontrar, ya sea en las secciones científicas de los periódicos, o en revistas más especializadas. Como diferencia, existe la que se puede observar en las carreras de Ciencias físicas y biológicas, en donde no se imparte Biología en Físicas, pero sí se da Física en Biológicas. Aunque esto es opinable, así ocurre en la realidad (por lo menos en la U.A.M.), y responde al hecho de que un biólogo necesita de la física para sus estudios mal que le pese.

Además de estas consideraciones superficiales, la pregunta que quizás debemos hacernos es la siguiente: ¿es posible resolver los problemas de la vida con la ayuda de leyes y nociones de la física?. Si hacemos esta pregunta en relación con la química, creo que la respuesta es indudablemente positiva. Sin embargo en el caso de la biología, por el mayor nivel de complicación, la respuesta no es tan evidente.

De hecho ha habido tanto físicos como biólogos que han dado respuestas negativas contundentes. Así, por ejemplo, el físico Lord Rutherford, describía a un biólogo como un coleccionista de sellos. Ernst Mayer, eminente especialista en la teoría de la evolución, considera a la física como totalmente ajena a la biología. Piensa que no hay leyes en biología similares a las que existen en física. Opone a continuación darwinismo con física para concluir que en muchos casos la física ha tenido efectos nocivos en el desarrollo de la biología (4). Por supuesto que no estoy en absoluto de acuerdo con estas ideas, y se pueden dar argumentos de peso para rebatirlas.

Otro aspecto que desearía resaltar es el hecho que en los laboratorios de biología y medicina, hay un gran número de aparatos, algunos de ellos bastante sofisticados, que están basados en fenómenos físicos, que han sido inventados por físicos, y que quizás ligado a ello hay bastantes biólogos que son originariamente físicos.

LA INSTRUMENTACIÓN FÍSICA EN BIOLOGÍA: EL MICROSCOPIO

Existen varios ejemplos paradigmáticos de la importancia que el descubrimiento de fenómenos físicos ha tenido en el desarrollo de la biología y la medicina. Voy a mencionar aquí el descubrimiento de los rayos X, y la resonancia magnética nuclear que permite obtener una imagen del cerebro, aunque voy a extenderme más en el caso de la microscopía, puesto que éste es mi campo de especialización.

Probablemente, el microscopio óptico fue el instrumento físico más antiguo gracias al cual se produjo la primera revolución en biología. De hecho fue el físico Robert Hooke, famoso por su ley de la elasticidad, contemporáneo de Newton con el que mantuvo agrias disputas, quien introdujo por primera vez el nombre de “célula” para designar lo que vio al examinar con un microscopio compuesto en 1655, secciones finas de corcho. Aunque el avance en esta dirección se ralentizó considerablemente, la teoría celular se impuso en el siglo XIX, a lo que contribuyó entre otros Santiago Ramón y Cajal, Premio Nobel de Medicina.

Mientras tanto, el progreso instrumental del microscopio óptico chocó con el problema de la difracción de la luz puesto de manifiesto por Ernst Abbe en 1870, y que establecía un límite a la resolución del microscopio óptico dependiente del valor de la longitud de onda de la luz, en la práctica para luz visible, $0.2 \mu\text{m}$.

Un salto adelante de gran trascendencia fue dado en 1931 por Ernst Ruska, Premio Nobel de Física de 1986, quien fabricó por primera vez un microscopio electrónico de transmisión (TEM), para superar el límite de resolución, ya que la longitud de onda del electrón está por debajo del tamaño de un átomo. En la práctica y en sus aplicaciones biológicas, el TEM ha extendido la resolución a la escala del nanómetro, penetrando cada vez más en la estructura primaria de la arquitectura celular.

A pesar de ello, el microscopio óptico sigue siendo un aparato esencial en un Laboratorio de biología, porque tiene una propiedad que resulta fundamental ya que permite la observación del material biológico en su medio natural, típicamente alguna solución acuosa.

En 1981, G. Binnig y H. Rohrer, también Premios Nobel de Física de 1986, inventaron el microscopio de efecto túnel (STM) abriendo el camino a una serie de instrumentos caracterizados por poseer una punta afilada que efectúa un barrido sobre la muestra a una distancia de ella

extremadamente “próxima”. Por esto se suele designar a este tipo de microscopios como de proximidad, siendo actualmente el más exitoso el que se basa en la medida de la fuerza de interacción entre la punta y la muestra, llamado Microscopio de Fuerzas (SFM).

El SFM no usa lentes para formar imágenes, puede operar en aire ambiente, así como en líquidos, tiene una resolución en el rango del nanómetro, y proporciona imágenes tridimensionales cuantitativas de la superficie del objeto (5).

¿DÓNDE ESTÁ LO INTERESANTE AHORA?

La respuesta a esta pregunta es la que nos conduce a esgrimir argumentos sólidos que apoyan nuestra idea de un acercamiento entre físicos y biólogos. Por un lado tenemos que la física ha empleado un enorme esfuerzo en las cuestiones básicas. El descubrimiento del átomo y su extensa descripción por la física actual son realmente impresionantes; pero a la escala macroscópica, que es el terreno en donde se mueve la biología, los átomos pasan desapercibidos y carecen de importancia. El cerebro es enorme, pero incluso una célula lo es si la medimos con la escala de los átomos (Fig 1). Por otro lado, y según mencioné al hablar de “emergencia”, existen fenómenos nuevos asociados a la complejidad, y a uno de sus aspectos, la imperfección.

Ahora bien, un exceso de complejidad resulta difícilmente abordable, por lo menos para un físico. Existe ahora una corriente que trata de bucear entre lo microscópico y lo macroscópico. La idea consiste en ir de lo simple a lo complejo (6). Este nivel intermedio se llama *mesoscópico* y se puede considerar como un nivel de emergencia.

Este nivel es desde luego interesante para un físico porque le permite pasar de los átomos o moléculas conocidas a moléculas de mayor tamaño que proporcionan nuevos fenómenos y alicientes renovados a la investigación. Un buen ejemplo de estas moléculas lo constituye los fullerenos (C_{60}) descubiertos por los premios Nobel de Química Smalley, Kroto y Curl en 1985, y los nanotubos descubiertos por Iijima en 1991.

Dentro de esta categoría están las biomoléculas, entre ellas la más conocida: el ADN, y entran conceptos como el de funcionalización, que tiene un cierto paralelismo en biología con la expresión genética, entran aspectos aplicados como la tendencia a la miniaturización en microelectrónica, y su campo correspondiente en biotecnología. Se trata de un campo amplio con elevado carácter interdisciplinar, y que está en el centro de una nueva visión de las moléculas aisladas, aunque complejas (7). Como ejemplo está el análisis de hebras aisladas de ADN.

Una de las técnicas consideradas en este análisis es el SFM. A este respecto es interesante mencionar aquí, el proyecto que inició H. Rohrer (Dr. honoris causa por la UAM en 1988): Cuando el microscopio de efecto túnel estaba en sus inicios, impulsó con enorme tesón su aplicación a material biológico. De hecho este programa se inició en la UAM a través de un proyecto en el que también estaban involucrados el Centro de Biología Molecular (UAM-CSIC), y IBM. Aunque inicialmente los resultados fueron dubitativos, actualmente, a través del Microscopio de Fuerzas el presente y el futuro de esta idea se pueden ver con enorme optimismo. Es un ejemplo de la frase: “En todos los campos busca lo más extraño y explóralo”.

REALIDADES

Esto no es simplemente un ejercicio de pensamiento, sino que ya se refleja en la constitución de numerosos laboratorios conjuntos de física y biología. En un estudio reciente (8), se hace un informe en el que se muestran varias iniciativas de universidades americanas en este sentido. Quizás una de las más significativas sea la de la Universidad de Stanford, liderada por el premio Nobel de

Física Steven Chu y por el bioquímico James Spudich. Es una propuesta de centro de investigación integrado por 50 personas expertas en materias que van desde la física aplicada hasta la medicina clínica.

El proyecto se llama Bio-X y se trata de mezclar biólogos con investigadores de otras disciplinas, y dejar que en este entorno interdisciplinar, germine de forma natural un avance producido precisamente por la integración de conocimientos que hasta ahora se desarrollan de forma autónoma.

Otras iniciativas con la misma idea de crear puentes entre física y biología se plantean en las Universidades de Chicago, Berkeley, Princeton y últimamente en Harvard.

CONCLUSIÓN

Como integrante de la UAM en donde la física ha tenido un nivel de calidad internacionalmente reconocido, gracias al fundador del Departamento D. Nicolás Cabrera, y la Biología Molecular se ha desarrollado con la participación del Premio Nobel D. Severo Ochoa y la escuela por él formada, pienso que es una situación ideal para plantear iniciativas similares a las mencionadas anteriormente. Se trata simplemente de poner juntos a físicos y biólogos en un espacio común con un Laboratorio común, para que cada uno aporte sus conocimientos manteniendo su identidad como físico o biólogo, y lleve a cabo una *investigación interdisciplinar* de tal manera que resulte un progreso científico mayor, como resultado de esta integración.

Por supuesto, este esfuerzo investigador debe ir acompañado de un esfuerzo educativo que permita que la integración entre las distintas disciplinas se haga de forma natural rompiendo las barreras y las dificultades que por supuesto existen.

BIBLIOGRAFIA

- (1) George Gamow, Biografía de la Física, Alianza Editorial, 1985
- (2) Encuentros Multidisciplinares, Vol I N° 1, 1999, pag 77.
- (3) Murray Gell-Mann, El quark y el jaguar. Aventuras en lo simple y lo complejo. Círculo de Lectores, 1995
- (4) Mikhail Volkenstein, Discurso de investidura de doctor “honoris causa”, Ediciones de la Universidad Autónoma de Madrid, 1988
- (5) Carlos Bustamante y Ricardo García, Aplicaciones biológicas del microscopio de fuerzas, Investigación y Ciencia, n° 246, 1997, pag 76
- (6) Pedro M. Echenique, De lo simple a lo complejo: Un ejemplo, la Nanotecnología, Conferencia impartida en el Curso “Hacia la Física del siglo XXI”, 1999
- (7) “Single Molecules”, Science, Vol 283, 1999, pags. 1667-1695
- (8) “US universities create bridges between physics and biology”, Nature, Vol 397, 1999, pag 2