

REAL ACADEMIA DE CIENCIAS
EXACTAS, FÍSICAS Y NATURALES

De la Biología a la Física

DISCURSO

LEIDO EN EL ACTO DE SU RECEPCION

POR EL

EXCMO. SR. D. ARMANDO DURAN MIRANDA

Y

CONTESTACION

DEL

EXCMO. SR. D. ANTONIO COLINO LOPEZ

EL DIA 12 DE MARZO DE 1975



M A D R I D

DOMICILIO DE LA ACADEMIA:

VALVERDE, 22 — TELEFONO 221-25-29

1 9 7 5

Depósito Legal: M. 5 851-1975

TALLERES GRAFICOS VDA. DE C. BERMEJO.—J. GARCIA MORATO, 121.—MADRID

DISCURSO

DEL

EXCMO. SR. D. ARMANDO DURAN MIRANDA

TEMA

DE LA BIOLOGIA A LA FISICA

Excmo. Señor Presidente.

Excmos. Señores Académicos.

Señoras.

Señores.

En octubre de 1932 conocí a D. Julio Palacios en un aula estrecha, alargada e incómoda, cuyas ventanas miraban a un patio del viejo caserón de San Bernardo. En una de las paredes una tosca terracota mostraba en relieve el rostro de Echegaray. Una amplia pizarra ocupaba casi todo el frontal de un lienzo de pared y enfrente de ella dos únicas filas de asientos estaban destinados a los pocos alumnos matriculados aquel año en la asignatura de Termología.

Don Julio explicaba de una manera precisa —ni una palabra de más, ni una palabra de menos—, con lógico rigor al modo cartesiano, en una perfecta concatenación de ideas. Subrayaba el concepto físico, poniendo jerarquía en los conceptos, de tal modo, que lo primordial resaltaba sobre lo secundario. ¿Por qué hoy —¡tantos años pasados!— vuelve el recuerdo tan pormenorizado? ¿Por qué este primer encuentro con D. Julio quedó tan grabado incluso en el detalle nimio?

Quizá la circunstancia personal pueda dar respuesta a las preguntas. Al decidir el camino universitario surgió la duda sobre cuál, de entre la Matemática y la Física, debiera ser el cauce principal por el que habría de discurrir en mis estudios. D. Augusto Krahe, miembro que fue de esta Academia, me había enseñado lo que es el rigor en la Matemática, había enderezado mi vocación hacia ella. Todo parecía preparado para que las entonces llamadas Ciencias Exactas, constituyesen el camino a seguir en el futuro, pero mi vacilación en el momento de formalizar la matrícula llevó la decisión a ensayar simultáneamente la vía de la Física de la que, a decir verdad, poco sabía

con precisión y de la cual, salvo lo estudiado en el Bachillerato, desconocía casi todo.

Con un cierto aire de aventura el encuentro de la Física tuvo lugar a través de D. Julio quien poco a poco, fue creando ese clima necesario para pasar de la sorpresa de lo desconocido, al asombro de un horizonte nuevo abierto ante los ojos atónitos del aprendiz de físico que intentaba la búsqueda de un saber. Si la expresión se admite como lícita, puede hablarse de una conversión por medio de la palabra, del razonamiento y de la lógica concatenación de las ideas. Ciertamente D. Julio no supo que había operado personalmente aquel cambio y ciertamente no pudo existir una intención decidida en hacerlo. La virtud del maestro radica en hacer trascender la sincera honradez de su pensamiento, convenciendo y transformando mediante el carisma de su propio ejemplo.

¿Debo explicar con más detalle por qué las circunstancias de un primer encuentro han quedado indelebles en el recuerdo?

Salvo las inevitables preguntas y aclaraciones durante el curso, no tuve con él ninguna otra relación que la estrictamente académica. Posteriormente, al fin de la carrera, fui llamado para colaborar en su laboratorio del Instituto de Física y Química y en su Cátedra como ayudante. Comenzó entonces una relación más asidua, no sólo en el orden científico, sino en el humano. Las múltiples facetas de su fuerte personalidad aparecían nítidamente definidas en cualquier ocasión en la que hablase. Recuerdos de un viaje a Filipinas, alusiones a su estancia en Holanda, agudas críticas políticas, frases precisas e ingeniosas en las reuniones de Acción Española, largas y amenas conversaciones mientras íbamos juntos a la Escuela de Ingenieros Aeronáuticos, podrían constituir capítulos de una biografía escrita, sin más datos que el recuerdo, por todos los que hemos gozado del privilegio de haber sido discípulos y amigos.

Hablar de D. Julio, hoy para mí, no puede nunca constituir la solemne relación comentada de sus trabajos científicos, tiene que ser forzosamente el recuerdo de lo que perdura por encima del tiempo y constituye ese nexo más firme y más verdadero que es la amistad.

Por otra parte, salvo lo estrictamente personal, poco podría añadir a lo que en este mismo lugar se dijo en solemne sesión por los Académicos de las tres Reales Academias a las que perteneció y habría de sonar de modo extraño que dijese yo en la Real Academia que presidió, lo que él representó para ella.

Pero pecaría de insincero si no expusiese públicamente el agradecimiento al honor que me habéis concedido, señores Académicos, al elegirme, más por vuestra benevolencia que por mis méritos, para ocupar su puesto. Llega el discípulo a ocupar el sillón de quien le dio la mano para los primeros pasos torpes y vacilantes que pudo enderezar a buen camino gracias a su guía segura. Quede, con consciente aceptación del riesgo, la promesa del intento de no defraudaros y de ser fiel a su memoria.

DE LA FÍSICA A LA BIOLOGÍA

Séame permitido escoger un escrito entre todos los suyos, para aplicarle el mismo criterio que sirvió a D. Julio para elaborarlo.

Tres relaciones entre el libro y el lector destacan en la advertencia que a modo de prólogo abre las páginas de la publicación titulada *De la física a la biología*. La primera de ellas, puede definir la actitud del lector a quien lo leído sólo proporciona fastidio y le mueve sólo a tratar el asunto por su cuenta. La segunda de las relaciones señala que al ser arrastrado por la lectura, no se sienta con fuerzas para, con sus propios medios, dar un paso más allá del punto al que ha sido conducido. «Finalmente puede suceder que tras de asimilar el texto continúe en marcha el cerebro del lector y con más o menos fortuna lleve el asunto a término no alcanzado por el propio autor». Este fue el caso en el que se encontró D. Julio en relación con el libro *What is life?* de Schrödinger y ésta es la situación en la que me encuentro actualmente en relación con el libro *De la Física a la Biología*.

Trato de buscar en él esas vías por las que el espíritu crítico del autor discurría, tratando de hallar relaciones entre los diversos temas. Le preocupa el papel que la mecánica cuántica puede jugar en los procesos vitales y llega a una conclusión para la que pide a cada cual que emplee a fondo su capacidad de asombro. La doble naturaleza —corpúscular y ondulatoria— que la física introduce para tratar de explicar el microcosmos, le mueve a decir que «los cuerpos macroscópicos sometidos a las leyes de la mecánica clásica, que son leyes razonables, están constituidos por corpúsculos que no son razonables». Ante esta situación extrema en la que la física deja de ser racional para convertirse en mística, sugiere que los físicos entren en

el campo de la biología dispuestos a escalar por un terreno que está por encima del propio.

Resume su actitud frente al hecho biológico, diciendo que todo organismo superior puede ser considerado desde los siguientes aspectos:

1.º Como conjunto de moléculas, esto es, de configuraciones atómicas, que han de estar regidas por las leyes no deterministas y discontinuas de la mecánica cuántica.

2.º Como una colectividad macrofísica, en la que todos los procesos se desarrollan con continuidad y de acuerdo con leyes deterministas, las de la mecánica clásica y las de la termodinámica.

3.º Como una totalidad individual. Su estudio es inabordable con los recursos de la física actual. Cuando se realice se habrá construido una nueva ciencia biológica, y entonces podrá discutirse si se trata de un nuevo capítulo de la física o de una ciencia independiente.

Le preocupan los problemas del libre albedrío, le preocupa la relación entre la ciencia y el determinismo, le preocupa la limitación que el hecho biológico puede establecer en la física y sobre este aspecto dice de modo contundente que afirmar que todo fenómeno biológico es un fenómeno físico, es salirse del terreno científico para perderse en el campo de lo opinable.

DE LA BIOLOGÍA A LA FÍSICA

Hace más de un cuarto de siglo expresó Palacios su punto de vista sobre la Física y la Biología. Desde entonces acá ¿qué ha sucedido?

La Física y la Biología han avanzado considerablemente cada una por su campo propio y, paralelamente a este crecimiento, ha nacido la necesidad de un mayor acercamiento. Porque en tiempos pasados todas y cada una de las llamadas ciencias naturales discurrían por caminos separados, mientras que hoy se intenta buscar una unidad dentro de la ciencia. Quizá sea este el momento de intentar saber qué es lo que ocurre y dónde pueden trazarse las fronteras.

Hace un cuarto de siglo pudiera explicarse la preocupación de la física sobre temas biológicos por la vía que va de la física a la biología, es decir, por el intento de aplicar los conceptos físicos a un campo nuevo con el riesgo que Palacios señalaba de tener que escalar un terreno que está por encima del propio.

Hoy el problema se presenta con características diferentes. La biología sitúa su investigación a nivel de la molécula, campo en el que el físico puede tener mucho que decir. El biólogo centra su atención en el contenido informativo que la molécula del DNA almacena al tratar de hallar la traducción de este mensaje y la explicación de los mecanismos por los cuales se consigue ésta. Pide al físico que desde el punto de vista de su saber explique, en lo que es posible, los procesos que, en definitiva, van a consistir en la consideración y el estudio de un balance de energía. Es la biología la que llama a la física, que por esta razón no debe encontrarse acampada en lugar extraño cuando biofísicamente aborde los problemas.

Podemos decir que la vía que hace un cuarto de siglo preocupó a Palacios yendo de la física a la biología, ha cambiado de sentido y, por eso hoy, no por juego de palabras sino por el hondo sentido que puede significar, quisiera adentrarme buscando los antecedentes, es decir, haciendo de algún modo historia, por ese camino que va de la biología a la física.

IMAGEN DEL MUNDO FÍSICO Y DEL MUNDO BIOLÓGICO

En 1936 Pascual Jordan publica su libro *Anschauliche Quantentheorie*, que constituyó entonces —todavía siguen vigentes muchos de sus puntos de vista— una aportación importante a la comprensión de los fenómenos cuánticos. Puedo decir con él que soy físico y que me encuentro como en mi propia casa cuando trato de comprender o de aclarar los conocimientos que se refieren al tema que profeso vocacionalmente, pero al mismo tiempo no puedo dejar al margen la inquietud por lo que en la biología pueden representar las profundas transformaciones que en la física se han operado. Contemplaba Pascual Jordan esta situación cuando la física no había llegado al estado actual y no soñaba la biología con el rápido desarrollo que en todos los órdenes ha tenido en estos últimos tiempos.

¿No deben encontrarse hoy los físicos con más inquieta preocupación que la que entonces tenía una de las grandes figuras de la mecánica cuántica?

Cita Jordan el pensamiento de Bohr sobre la referencia de las leyes biológicas a la física clásica, diciendo que suponen un recinto estrecho a pesar de los resultados brillantes que los fisiólogos hubiesen obtenido, mientras que la física cuántica —la de entonces— contribuyó

de modo importante a una nueva concepción de los fenómenos biológicos. Para Jordan los organismos constituyen sistemas microfísicos y sus reacciones rectoras han de ser procesos atómicos que deben dar a la biología un punto de vista totalmente distinto. La estadística de la causalidad de los procesos orgánicos y el hecho de aparecer alguno de éstos regidos no por leyes de continuidad sino por saltos con números enteros, dan pie para pensar en una mayor intervención de la física.

Jordan tuvo también una preocupación filosófica. La obra de Ernst Mach ha constituido para él un punto de partida para la comprensión de los problemas cuánticos, hasta tal punto que en el prólogo de su libro que ahora comentamos, dedica varios párrafos a exponer su personal punto de vista sobre el positivismo y su influencia en el modo de pensar de los físicos. Para él, el principio fundamental de la teoría del conocimiento positivista, es decir, la limitación que a las afirmaciones de los sistemas científicos imponen los resultados comprobados experimentalmente, constituye algo característico no sólo de la física sino también del modo de pensar de Hilbert. Rechaza la relación entre positivismo y materialismo afirmando que la concepción dogmática materialista de la naturaleza es irreconciliable con el positivismo. Alude al pensamiento de Bavinck y señala la postura que ante estos temas adoptaron Plank, von Laue y también Einstein. En el esquema con el que trata de resumir su punto de vista aparece la experiencia biológica emparejada con la física.

No sólo fue Jordan quien llevó su pensamiento por caminos de preocupación filosófica, fueron muchos los físicos que tuvieron las mismas inquietudes. Aparte de los nombrados anteriormente podemos referirnos a Werner Heisenberg, quien en este mismo lugar en el que hoy nos reunimos, pronunció, hace unos años, una conferencia sobre los problemas filosóficos de la física de las partículas elementales. El lema que campeaba en el antiguo auditorio de Pohl en Göttingen —*simplex sigillum veri*— es el criterio que quiere aplicar en su juicio crítico sobre la física. Haciendo que la sencillez sea la característica de la verdad, puede decir que cuando sea posible describir un campo experimental complicado con relativamente pocos conceptos sencillos y no contradictorios, de forma que lo que se deduce al aplicar tales conceptos es adecuado a las distintas experiencias, podrá decirse que se ha comprendido el fondo de la cuestión. Su posición en el enfrentamiento entre la física y la filosofía la establece

en las palabras con las que cierra su conferencia y en las que reconoce que «para el progreso de la física lo más útil y provechoso es no atenerse nunca sin reservas a determinadas directrices filosóficas y —con todos los respetos para el bagaje espiritual de la tradición— procurar siempre mantener en suspenso los fundamentos filosóficos, con la esperanza de poder seguir aprendiendo siempre de ellos y de su enfrentamiento en el futuro».

En el orden especulativo el problema de la relación entre la física y la biología ha preocupado profundamente a lo largo del tiempo. Tomemos a título de ejemplo la opinión de Carl von Weizsäcker, físico y filósofo, quien, desde ese doble punto de vista trata de ahondar en la imagen del mundo físico en su obra *Zum Weltbild der Physik*.

Parte, para delimitar fronteras, del concepto de «totalidad» —Ganzheit es la expresión que emplea —que puede ser entendida o como el todo de todas las propiedades de un objeto o como la expresión característica de ser él mismo un todo. Evidentemente, la primera de las definiciones resulta inaceptable, tanto para la biología, como para la física, como para cualquier otra ciencia, aun cuando intenten acercarse a ese total conocimiento lo más que sea posible. No podrán encontrarse así diferencias entre las ciencias, en su actitud para intentar conocer toda la verdad partiendo de que el todo es algo más que la suma de sus partes. No sería un cristal una suma de átomos como un muro no es la suma de sus ladrillos. Hace falta conocer la distribución espacial y las leyes que la rigen, de tal modo que pudiéramos decir que es la simetría la que convierte un cristal en un cristal.

Desde otro punto de vista aparece en un filósofo compostelano la idea de una inscripción del concepto de ser en un totalismo. La cita, que viene como anillo al dedo, la tomo de la obra de Carlos París *Ciencia, conocimiento, ser*, en el que recoge estudios para una epistemología actual. Dice Amor Ruibal: «Así, es siempre el todo lo que da el ser formal y la inteligibilidad a los elementos parciales, que por consiguiente dicen relación a él, tan real e intrínsecamente como intrínseca y realmente cada ser es lo que es en virtud de los factores de que consta».

No soy yo quién para analizar las consecuencias filosóficas, ni la repercusión que puedan tener en el modo de pensar de los físicos, pero sí debo dejar constancia de una coincidencia entre Amor Ruibal, preocupado por los problemas fundamentales de la filosofía y el dogma

y von Weizsäcker al analizar las posibles fronteras entre la biofísica y la biología.

Contempla von Weizsäcker la situación de la biología citando a Carus con palabras de las que dice que deben impresionar al físico. Pone Carus dos ejemplos, uno tomando de la biología y, otro, de la física. En el huevo de una mariposa no puede verse lo que más tarde ha de constituir el cuerpo, las características y los colores del animal desarrollado. Toma por otra parte el agua, puede ser también una gota de agua, en la que, al cristalizarse, surgirán los cristales en las diversas formas que pueden encontrarse en un copo de nieve.

La imagen, el tipo o la idea de esa estructura existían ya antes de haber cobrado existencia.

Se extiende von Weizsäcker en la importancia que para el estudio de los cristales tiene la matemática, concretamente la teoría de grupos, y apunta la posibilidad de que unas «matemáticas en la naturaleza», es decir, unas leyes elaboradas por el pensamiento del hombre, puedan actuar de modo que se reconozcan sus efectos aún antes de que nuestro propio conocimiento matemático se haya desarrollado hasta imponer la necesidad de su uso.

Con todo ello puede ampliarse el conocimiento de lo que la física puede hacer, pero con ello no se puede llegar a establecer las fronteras entre ella y la biología. Surge la pregunta ¿qué fuentes de conocimientos fuera de la experiencia social y el pensamiento lógico, ambas empleadas también por la física, puede tener la biología si no quiere convertirse en mística?

Analiza críticamente la diferencia que puede existir entre el objeto para la física o para la biología para llegar a la conclusión de que como frontera entre ambas ciencias, podría establecerse aquella zona en la cual los conceptos específicamente derivados de lo que en nosotros mismos distingue el individuo biológico de la simple configuración física, no pueden ser utilizados para explicar nuestras propias experiencias, es decir, lo que, de un modo o de otro, constituye la intimidad de lo vital.

Este hecho de la vida, de su continuidad, es seguramente lo que hace decir a François Jacob en su libro *La Logique du vivant*, que pocos fenómenos se manifiestan con tanta evidencia en el mundo de los vivos, como la formación del semejante por el semejante. Para señalar el contraste entre una concepción mecanicista del organismo y los hechos biológicos cita a Claude Bernard, tomando sus palabras,

que siguen siendo actuales y que no puedo dejar de transcribir. «Admitiendo que los fenómenos vitales se pueden referir a manifestaciones físico-químicas, lo que es cierto, la cuestión en su conjunto no queda por ello aclarada, ya que por un encuentro fortuito de fenómenos físico-químicos no puede ser constituido cada ser, según un plan y de acuerdo con un proyecto fijado y previsto de antemano... Los fenómenos vitales tienen sus condiciones físico-químicas rigurosamente determinadas; se subordinan y se suceden en un encadenamiento y según una ley fijada de antemano: se repiten eternamente con orden, regularidad, constancia y se armonizan con vistas a un resultado que es la organización y el crecimiento del individuo animal o vegetal. Hay como un proyecto establecido para cada ser y para cada órgano, de tal manera que si cada fenómeno de la economía se considera aisladamente, sería tributo de las fuerzas generales de la naturaleza, pero considerado en sus relaciones con nosotros revela un nexo especial. Parece dirigido por alguna guía invisible, por el camino por el que marcha y que le conduce al lugar que ocupa».

Las dos maneras que Claude Bernard señala siguen vigentes casi un siglo después y hacen que hoy la biología no se presente como una ciencia unificada.

Dentro de ella advierte François Jacob dos tendencias: una que califica de integrista o evolucionista y, otra, que denomina tomista o reduccionista. Para la primera el organismo no es dissociable en sus constituyentes, sino que interesa considerarlo como elemento de un sistema de orden superior, grupo especial, especie, familia ecológica. Esta biología se interesa por el comportamiento de sus individuos en la colectividad y trata de buscar en el fondo del tiempo la traza de lo que actualmente nos rodea. Para un biólogo que siga esta línea tiene más interés lo colectivo que lo individual, y habría de rechazar la explicación de propiedades de un ser vivo por estructuras moleculares sobre las cuales la física y la química podrían decir su palabra propia. El todo no es solamente la suma de las partes, reitera Jacob, como había dicho en tiempos anteriores Carl von Weizsäcker.

El otro extremo que se manifiesta en actitud opuesta es el que califica de tomista o de reduccionista para el cual el organismo considerado como un todo debe ser explicado solamente por las propiedades de sus partes. Es la biología que se interesa por los órganos, por los tejidos, por las células y por las moléculas, intentando dar

cuenta de las funciones por las estructuras. Reducida la posición a una simple frase habría que decir que trata de aislar los constituyentes de un ser vivo para intentar encontrar las condiciones que le permitan estudiarlas en un tubo de ensayo. La física y la química entran de lleno en este terreno para reducir la biología a ser descrita exclusivamente en términos moleculares.

Jacques Monod, que con Jacob y Lwoff compartió en 1965 el Premio Nobel de Medicina, ha escrito recientemente el libro *Le hasard et la nécessité*, en el cual, al no querer rehuir ningún problema, tiene que afrontar también con plena responsabilidad los desarrollos de orden ético e incluso político que no ha querido evitar por peligrosos, simples o muy ambiciosos que pudieran ser. El azar para él se encuentra en la estructura del DNA y la necesidad, en la selección. Sitúa las fronteras de la biología en dos zonas extremas de la cadena de la evolución. Por una parte, en el origen de los primeros seres vivos y, por otra, en el sistema nervioso central del hombre. Su posición, polémica sin lugar a duda, obliga a pensar sobre muchos aspectos que giran en torno a ese serio y profundo problema de la vida. Para él renunciar a la ilusión que ve en el alma una sustancia inmaterial no supone negar su existencia, sino por el contrario, reconocer la complejidad, la riqueza y la profundidad de la existencia genética y cultural, así como la experiencia personal, consciente o no, que conjuntamente constituye el ser que nosotros somos, testigos únicos e irrecusables de nosotros mismos.

No hay duda que el problema es árduo y que las referencias que hemos tomado de figuras señeras sitúan el problema en la apasionante coyuntura de tener que revisar muchos principios. Moviéndose tan sólo en el plano científico habría que situarse considerando las dos tendencias que señala Jacob.

Estas dos actitudes no presentan sólo una diferencia de métodos o de objetivos sino también de lenguaje y de esquemas conceptuales. La biología moderna abre una etapa del mecanicismo en el sentido de interpretar el organismo partiendo de las estructuras últimas. Por su lado, la física, que en sus comienzos parte de lo sensorial, se convierte en rígida y mecanicista durante los siglos XVII y XVIII.

En rigor, la física moderna no establece un límite sobre el valor de las leyes de la física clásica sino única y exclusivamente sobre la aplicación de las mismas. Aparece así una diferencia entre el macrocosmos y el microcosmos, o lo que es lo mismo, entre la macrofísica y la microfísica.

Aparece ya el tajo que separa una física de la otra. Se aplican a mundos distintos, tienen otros útiles para su trabajo. ¿Son por ello incompatibles?

«La pretensión de verdad de la física clásica sólo vale, pues, dentro de los límites que entraña la imprecisión de los conceptos que aparecen en los axiomas de la física clásica», dice Heisenberg, añadiendo después que «aunque las leyes de ésta, vistas desde la física moderna, sólo aparezcan como casos límites de relaciones más generales y abstractas, los conceptos clásicos con ella relacionados constituyen un elemento indispensable del lenguaje científico sin el cual sería de todo punto imposible hablar de resultados científicos.»

El concepto de naturaleza visto desde la física, evoluciona. A su transformación dedica Werner Heisenberg un bello libro, *Das Naturbild der heutigen Physik*, en el que analiza el problema y estudia las variaciones operadas a lo largo del tiempo, sobre todo, a través de los diversos puntos de vista de diferentes filósofos y científicos.

La idea de la naturaleza en la nueva física, es profundamente estudiada por Xavier Zubiri en *Naturaleza, Historia, Dios*. Su lectura invita a pensar seriamente sobre el tema y a ella debo, no poco, de mi afanoso buscar en la física algo más que una acotada explicación de los hechos.

Al estudiar el momento actual, dice Heisenberg que es mejor hablar de la imagen de nuestras relaciones con la naturaleza que de la imagen de la naturaleza porque la diferencia que establece Descartes entre la «res cogitans» y la «res extensa» no es ya apropiada como punto de partida para el entendimiento de la moderna ciencia de la naturaleza.

Llama la atención sobre el peligro que supone para el hombre actual haberse encontrado de golpe en primera línea y enfrente de sí mismo. Compara la situación a la de un capitán de barco que no supiese que su brújula estaba orientada tan sólo por el efecto de la masa de su propio buque y no marcase el norte. Si conoce el peligro puede remediarlo y buscar su posición por las estrellas, de las que Heisenberg dice que son raras de ver.

GOETHE Y NEWTON

Puede ser aleccionador ver, aunque sólo sea someramente, el modo distinto de contemplar el mismo fenómeno por personas que en su

tendencia se inclina uno de ellos más hacia la rigurosidad de las leyes físicas y otro hacia la impresión que recibe por los sentidos. Un físico y un poeta tratan de explicar lo que son los colores o quizá con más precisión lo que constituye el color.

El hombre actual no puede repetir en su totalidad aquella frase de Goethe sobre la naturaleza «vivimos en medio de ella y le somos extraños. Habla ininterrumpidamente con nosotros y no nos confía sus secretos. Actuamos continuamente sobre ella y no tenemos fuerza para dominarla».

Este asombro que Goethe muestra, nace probablemente durante su viaje a Italia. En los apuntes de aquella época consignados en su diario brotan ideas que más adelante habían de constituir la base de su modo de entender la naturaleza. Al contraste entre Goethe y Newton, en el modo de plantear sus respectivas teorías sobre los colores, dedica Heisenberg una conferencia dada en 1941 en la Sociedad de Cooperación de Budapest.

Para Goethe los colores se originan de la unión de lo claro y de lo oscuro, y no solamente en la luz como enseña Newton. Para éste la luz blanca se considera compuesta por distintos colores que pueden separarse mediante sistemas físicos, p. e., un prisma. Para Goethe, con su visión de poeta, el origen ha de ser la luz en todo su esplendor. Para Newton, como físico, el punto de partida ha de ser el rayo que trata de forma matemática y cuya marcha a través de los diferentes medios puede ser prevista y calculada.

Para Goethe lo primordial es percibir con los sentidos el mundo de color en el que se halla inmerso el hombre a la luz del día; para Newton el fenómeno luminoso puede ser reducido a una ecuación. Las dos teorías aparecen opuestas y antagónicas. No extraña, por eso, que Goethe critique duramente al físico diciendo que: «se erige en señor de los fenómenos, recoge experiencias, las pone en relación y aherroja mediante ensayos artificiales..., pero a su osada pretensión de que esto sea todavía naturaleza respondemos con una callada sonrisa, sacudiendo suavemente la cabeza». Para él la luz y el color tienen tal importancia que en relación con ellas dice muy solemnemente: «deje, pues el estudioso tranquilos los fenómenos primordiales en su eterna paz y magnificencia».

Por otra parte el físico, y pienso más en el actual que en el de la época de Newton, no se encuentra en la posición extrema de reducirlo todo a una ecuación, considerando la luz y los colores como algo

desustanciado y ajeno a la naturaleza y al hombre. La actual teoría del color tiene muy en cuenta al observador haciendo que éste, al intervenir en la medida, dé un carácter psicofísico aun cuando pueda llegar a calificar un color mediante una cifra.

Según Heisenberg, a quien seguimos en la conferencia anteriormente citada, a lo que Goethe renuncia no es en rigor a la matemática en sí, sino al oficio matemático. «Si hablamos de la matemática en su forma más pura, como la que se revela por ejemplo en la teoría de la simetría y de los números, es fácil advertir que la teoría goethiana contiene una parte no escasa de matemática», dice Heisenberg, y pone como ejemplo la distribución de los colores en un orden simétrico con arreglo a relaciones polares.

Quizá el antagonismo puede precisarse diciendo que Goethe y Newton contemplan desde puntos de vista diferentes dos aspectos del mismo fenómeno. Traduciendo al lenguaje de hoy la situación de uno y de otro, podríamos decir que mientras Goethe arranca de lo que percibe con los sentidos, y considera que no hay más mundo que el así determinado, Newton desecha todo lo que tenga un origen sensorial por considerar que los sentidos son auxiliares imperfectos y trata de penetrar en el secreto de la naturaleza por otras vías. Goethe, en este aspecto, es el último representante de una línea que arranca de los griegos y pasa por las leyes de la armonía de los mundos de Kepler, mientras que Newton es la figura más importante de una trayectoria que se origina en Galileo y llega hasta nuestros días.

Quizá Kepler pueda ocupar el lugar en el que se cortan ambas tendencias, ya que por una parte dio con sus leyes una explicación mecanicista de las órbitas planetarias y, por otra, buscaba en el Universo la armonía de las esferas con un substrato poético.

A partir de entonces se intenta buscar, en cierto modo, una unidad dentro de los fenómenos físicos. Relacionar la caída de los graves con el movimiento de un planeta constituye un primer paso importante en el intento de lograr una abstracción que agrupe los dos fenómenos bajo la misma ley.

Kepler y Newton observan fenómenos diversos y los expresan utilizando el mismo concepto. Se ha de ver más tarde, al desarrollarse la física, cómo la teoría electromagnética une fenómenos eléctricos, magnéticos y luminosos y cómo la teoría cuántica puede acercar la química a la física de un modo tal que en orden a los principios utilicen el mismo lenguaje. El avance de la física pudiera compararse a

una propagación que va recubriendo diversas zonas incorporándolas como partes constituyentes de una disciplina que se basa en unos principios cuya formulación más exacta se intenta en la actualidad para poder describir la imagen científica del mundo, traduciendo con ello el concepto de «Weltbild».

C. F. von Weizsäcker dedica a la unidad de la física un trabajo publicado con motivo del LX aniversario del nacimiento de Heisenberg, en el que plantea el problema en unos términos tan amplios y precisos que su glosa resulta aconsejable.

Considera que la directriz para el análisis de la imagen del mundo clásico está constituida por el determinismo que podría expresarse así: todo lo que en el mundo sucede está predeterminado en sí mismo. Esta predeterminación se apoya en leyes y estas leyes son las de la mecánica.

En cambio, la ciencia actual plantea el problema de un modo diferente. Podría decirse que lo que va a suceder puede ser calculado previamente de acuerdo con las leyes de la mecánica, siempre que se posean los datos y los conocimientos suficientes. Para la mecánica clásica la ley y el resultado de su aplicación son independientes de la observación, mientras que para la actual mecánica el hecho de observar adquiere tal categoría que puede influir de un modo decisivo, de aquí que sea necesario que para la predicción puedan conocerse con precisión todos los datos.

La mecánica clásica trabaja con una cuaterna de realidades objetivas: cuerpos, fuerzas, espacio y tiempo. La ecuación diferencial que expresa la conocida ley —la fuerza es igual a la masa por la aceleración— contiene estos cuatro conceptos.

Las leyes de la mecánica están basadas en la predicción de un estado futuro que supone el conocimiento de la situación en un instante determinado, lo que lleva consigo, sin decirlo, que el tiempo necesita transcurrir. Este papel que juega el tiempo en la descripción de la naturaleza no puede ser eliminado y está contenido en todas las representaciones de la física. El concepto de fuerza aparece en la mecánica clásica como una entidad que se maneja aisladamente. El paso inmediato es el concepto de campo que extiende la aplicación de fuerzas a un recinto dentro del cual actúan. Nace este concepto del deseo de hacer desaparecer el dualismo que se presentaba entre campo y fuerza. Se quiso concebir el campo como una realidad independiente con una dinámica propia, con la cual pudiera explicarse el viejo ideal del éter que la teoría de la relatividad especial echa por tierra.

Newton considera que el espacio existe con anterioridad a los cuerpos que en él se encuentran. Para él el espacio es una entidad real en la que se encuentran los cuerpos, que puede ser explicada en tanto en cuanto existe movimiento en él, introduciendo así, a través de la idea de un antes y un después, el concepto del tiempo.

En la física actual entra el tema de la materia como asunto importante y preocupante. No quiere decir que ciertas propiedades directamente ligadas con ella no hubiesen sido conocidas anteriormente, ni que la constitución de la misma no hubiese sido objeto de preocupación en tiempos anteriores. Significa que la materia en sí, es decir, la materia en tanto que materia, cobra un aspecto diferente y adquiere entidad propia dentro del campo de la investigación de la física moderna. Con ello aparece la mecánica cuántica que establece el futuro mediante la aplicación de una ley que tiene un significado estadístico. La mecánica cuántica se plantea el problema de la relación entre el sujeto y el objeto que arranca del significado estadístico del espacio de los estados.

La mecánica cuántica es la primera teoría de la física cuyos conceptos fundamentales carecen de significado si no se refieren explícitamente a la posibilidad de la medida.

La mecánica cuántica, aun cuando no ha cerrado de un modo positivo la separación que existe entre sujeto y objeto, constituye la aportación que la física puede dar a esta pregunta, de un nuevo modo muy esperanzador.

La macrofísica clásica puede caracterizarse por el hecho de que en ella se realizan descripciones objetivas de los sistemas parciales. La teoría cuántica tiene, en cambio, como algo típico suyo las medidas complementarias, como por ejemplo las medidas de situación y de impulso. La teoría cuántica aparecería así como válida también para la macrofísica, siendo en este caso la física clásica una aproximación. También, y esto abre un largo y amplio camino para el futuro, pudiéramos considerar la teoría cuántica y la física clásica, o si se quiere plantear en términos mecánicos la mecánica clásica, la relativista y la cuántica como parte de una teoría más general no elaborada todavía, en la cual cada una de ellas pueden ser aproximaciones aplicadas a casos particulares.

BIOFÍSICA

A lo largo de la historia de la física pueden encontrarse muchos ejemplos que delatan la preocupación por aspectos biológicos. No hay duda que en el momento actual muchas ciencias tienen que apoyarse unas en otras, dando lugar a sectores interdisciplinarios que necesitan la aportación activa de diferentes modos del saber, pero en lo que supone relación entre la física y la biología hay que distinguir dos aspectos fundamentales. Uno de ellos cubre sólo aspectos **parciales**, ya que considera que cualquiera de las dos ramas de la ciencia puede ayudar a la otra. Una forma de subordinación liga un saber con otro saber. La rama que pudiéramos calificar de principal desarrolla un programa con la ayuda de la otra. Aparece la física colaborando de un modo experimental, es decir, prestando su instrumentación, suministrando resultados para que la biología los interprete y los encuadre en su propio esquema.

El otro modo de ver el problema radica en un planteamiento no afinado específicamente en una ciencia determinada. El científico que investigue en esta dirección necesita utilizar un modo de pensar que sea físico y biológico a la vez. Nace así la biofísica.

Thomas Young, a quien tanto debe la óptica ondulatoria, obtuvo su título de médico en Göttingen, en 1796. Preocupado por el problema de la visión dio una explicación del proceso de la acomodación del ojo y estableció una óptica geométrica elemental para el estudio del órgano visual.

Varios otros ejemplos pudiéramos poner, pero como no se trata de hacer una historia de la biofísica, vamos a destacar de entre ellos el de Hermann Ludwig Ferdinand von Helmholtz por lo que representa el grado universal de su saber. Fue capaz de unificar la práctica y la enseñanza de la medicina, de la fisiología, de la anatomía y de la física y, como si fuese un hombre del renacimiento, de establecer las relaciones de estas ciencias con las llamadas exactas. Su tesis doctoral defiende que las fibras nerviosas se originan en las células ganglionares. Su publicación sobre la conservación de las fuerzas en el año 1847 se considera como un texto clásico en relación con el principio de la conservación de la energía. Profesor de Física en Königsberg inició investigaciones sobre la velocidad de los impulsos nerviosos. Fue más tarde Profesor de Anatomía y Fisiología en Bonn. Se interesó por la Acústica, publicando en 1858 un trabajo fun-

damental sobre los principios físicos de la armonía musical. Coincidió en Heidelberg con Bunsen y con Kirchhoff cuando se iniciaba una de las etapas brillantes de aquella Universidad. En ella publica en 1866 su obra magistral *Handbuch der Physiologischen Optik* que en sus diversas ediciones ha sido el texto imprescindible en esta materia. Es curioso destacar que la tercera edición de principios de este siglo lleva apéndices redactados por Allvard Gullstrand, otra de las grandes figuras de lo que hoy llamaríamos la biofísica.

Allvard Gullstrand, recibió en 1911 el Premio Nobel de Fisiología y Medicina por sus estudios sobre la refracción de la luz en diferentes medios, entre ellos el cristalino. Toda su carrera académica discurre en Upsala, en donde fue Profesor de Oftalmología y, posteriormente, de Óptica Fisiológica y Óptica Física. El oftalmoscopio inventado por Helmholtz fue mejorado y ampliado por Gullstrand.

Sirvan estas grandes figuras como ejemplo de cómo los problemas biofísicos deben ser abordados con mentalidad de físico y de biólogo al mismo tiempo.

Ciertamente tiene el físico hoy ante sí problemas distintos de los que pudieran presentarse en la época de Helmholtz y casi, inmediatamente después, en la de Gullstrand.

La física y la química pudieron entrar en una situación conflictiva cuando la teoría de la valencia y la tabla periódica necesitaron la teoría atómica que la física desarrollaba. Más tarde la química requirió a la física para que la complejidad de la teoría de la valencia pudiera ser encajada dentro de la teoría cuántica clásica que comenzaba a ser revisada. La mecánica cuántica, en su versión actual, y el principio de Pauli, dieron solución al problema, permitiendo que la físico-química, la química cuántica y la física atómica pudieran avanzar conjuntamente, siendo quizá diferentes modos de contemplar problemas dentro de una amplia unidad de criterio.

La física y la biología han marchado muy separadas durante esta etapa en la que la física y la química encontraron una zona de colaboración. La línea que va desde la caracterización de los seres vivos hasta la genética mendeliana, pasando por el estudio de la célula como unidad de los sistemas biológicos, pudo tener la ayuda de la química, dando lugar a la bioquímica, que aplica de modo fecundo la lógica sistemática de la química orgánica.

La física, al aplicar sus leyes a la molécula, crea la teoría de fuerzas intermoleculares en gases y cristales, para aproximarse a contem-

plar el problema de las macromoléculas, como las proteínas o los ácidos nucleicos. Aquí es donde está naciendo esta nueva biofísica que puede abrir nuevos horizontes para un futuro no muy remoto.

La conservación de la energía en el proceso biológico, la aplicación de la estadística y de la termodinámica de procesos irreversibles, la transferencia de entropía en los organismos vivos y el descifrado de la información contenida en la célula son los caminos por los que hoy puede marchar la biofísica, siguiendo los seguros pasos iniciados.

Por otra parte los métodos físicos pueden aplicarse con más seguridad y certeza a la medida de constantes que interesan en el estudio de la molécula. La difusión y la velocidad de sedimentación, el análisis mediante centrifugación, la difusión rotacional y la birrefringencia constituyen técnicas que pueden permitir el conocimiento de las macromoléculas.

La difracción de los rayos X y la determinación de estructuras cristalinas, representan una de las técnicas más poderosas para la determinación de los detalles de la estructura molecular.

El estudio de las fuerzas intramoleculares e intermoleculares constituyen hoy uno de los temas en los que ni físicos ni biólogos separadamente pueden caminar, necesitan de una mentalidad biofísica para poder afrontar el problema con éxito. La espectroscopía de absorción y la resonancia magnética nuclear suponen hoy un medio seguro para el estudio de los niveles de energía necesarios para conocer mejor lo que sucede dentro de las moléculas con cuyo estudio espera hoy la ciencia esperanzada, lograr adentrarse más y más en el problema de la vida.

Más allá de los detalles metodológicos o instrumentales conviene resaltar la actitud mental del biofísico, que podemos hacer con un ejemplo,

ESTUDIO BIOFÍSICO DEL DNA

Séame permitido hablar sobre un tema en el cual no he participado de modo directo, pero que he tenido obligación de conocer cierto detalle. Adopto así la misma postura que D. Julio Palacios tomó cuando en el ingreso en la Real Academia de Medicina expuso las investigaciones desarrolladas sobre la miopía y la presbicia nocturnas, sobre las cuales hace ya largos años intervine de modo activo.

A fin de contribuir a resaltar que una postura mental, más que los detalles metodológicos o instrumentales, es lo que parece consustancial con cualquier investigación biofísica, tal vez sea oportuno que comentemos, ahora, alguna de las hipótesis de trabajo que orientan las investigaciones sobre mecanismos básicos de radiolesión y de reparación enzimática del ácido desoxiribonucleico (DNA), bajo la dirección del Dr. Carlos A. Dávila dentro del Grupo de Biofísica de la Junta de Energía Nuclear.

Es posible buscar otros ejemplos y si he elegido éste, es por ser el más próximo a mi tarea en el Instituto de Estudios Nucleares y porque va a permitir llamar la atención, y esto es lo que importa, sobre el intrínseco dualismo de la Biofísica. Basta con que nos sirva para evidenciar cómo toda investigación biofísica en sentido estricto, resuena constantemente entre planteamientos antagónicos y que, como verdadera resonancia, llega a algo más profundo que en cada uno de ellos por separado.

La trascendencia de los fenómenos objeto de un planteamiento biofísico encuentra siempre sus raíces en consideraciones exclusivamente biológicas.

Por el contrario, la explicación causal, subyacente a las meras correlaciones fenoménicas, se alcanza solamente cuando se contempla a la luz de las leyes universales que rigen la estructura de la materia.

Comencemos por buscar en un contexto biológico la trascendencia de los mecanismos de alteración y reparación del DNA.

Es indudable que el descubrimiento de la naturaleza molecular de los mecanismos por los que tiene lugar la conservación, expresión e incremento de la información genética, mecanismos de validez universal entre los sistemas biológicos conocidos, constituye una de las más altas hazañas del espíritu humano. No sólo por el grado de elaboración conceptual puesto en juego sino, más especialmente, por la trascendencia, incluso filosófica y ética, del conocimiento adquirido.

Hoy el hombre se sabe potencialmente capaz de ejercer un control sobre su propio destino mediante fuerzas más inexorables que cualquiera de los condicionamientos socio-culturales que hasta ahora han dominado su historia.

Aunque, evidentemente, no son estos momento ni circunstancia oportunos para la consideración de la connotación existencial que tiene el problema de la conservación y alteración de la información genética, sí es adecuado, sin embargo, dejar constancia de su temática trascendente.

El eje central de nuestro conocimiento biológico actual está constituido por la evidencia de que toda la información requerida, tanto para que el sistema biológico se organice materialmente según la estructura que le es propia, como para que su funcionalismo tenga las peculiares características energéticas que le acreditan como ser vivo, está contenida en la cadena polinucleotídica de su DNA en forma de mensaje secuencial materializado en el ordenamiento lineal de sus bases púricas y pirimidínicas.

Normalmente la atención de la Biología está enfocada hacia la naturaleza y ordenamiento del contenido informativo almacenado en el DNA (genética molecular) o hacia los mecanismos por los que tiene lugar la traducción y regulación de la expresión fenoménica de la información genética (biología molecular).

Menor atención suele merecer el estudio de las características energéticas de la estructura bihelicoidal del DNA que, sin embargo, condicionan la estabilidad de dicha estructura y, en consecuencia, tanto la conservación como la alteración de la información genética.

Esta temática se singulariza un tanto respecto a la genética o a la biología moleculares, aunque siempre sin solución de continuidad, porque en este caso no importa qué información esté almacenada ni en qué código lo haya sido, ni mediante qué mecanismos haya de expresarse operacionalmente. El problema se centra, en exclusiva, en el estudio del grado de invariancia en el tiempo de un contenido informativo y de los mecanismos por los que ello se consigue.

Aunque realmente impresione considerar que la información genética se viene conservando desde que comenzó la vida en nuestro planeta (incluso sin interrupción material de la estructura bihelicoidal ya que toda cadena de DNA se sintetiza sobre otra anterior que le sirve de molde y le transfiere la información), no debemos olvidar la radical importancia de los procesos por los que tiene lugar su alteración.

El contenido informativo no sólo debe conservarse, lo que garantiza la perpetuación de un determinado sistema biológico, sino que debe incrementarse si ha de mantenerse un proceso evolutivo, como experimentalmente comprobamos que ha sucedido con la vida en la tierra. Lo importante es que este incremento de contenido informativo tiene que ser coherente y no redundante con la información previa.

Esta necesidad de coherencia no sorprende si se piensa que los

primeros acúmulos de información biológica, constituyeron resultados altamente improbables que se alcanzaron gracias a los enormes intervalos de tiempo transcurridos y al innúmero conjunto de sistemas puestos en juego. La cinética exponencial de la evolución biológica hace progresivamente menores los intervalos de tiempo y el número de sistemas disponibles. Traspasado un cierto umbral de contenido informativo cualquier incremento de información ya no es compatible con el conjunto anterior porque conduciría a un conjunto incoherente desde un punto de vista funcional y por ello mismo, no llegaría a existir fenoménicamente.

Dejemos también de lado, para mejor ocasión, la consideración de que esta exigencia de coherencia en el continuo incremento de contenido informativo, tiene una consecuencia teleonómica que impone a la evolución una trayectoria sobre la cual inexorablemente tendrá que moverse.

A los efectos de comentario de las hipótesis que nos ocupan, nos reduciremos a dejar constancia de cómo los mecanismos por los que el contenido informativo biológico se conserva e incrementa coherentemente a lo largo de los siglos, presentan, sin duda, la máxima trascendencia cuando se los considera en un contexto estrictamente biológico.

También nos resultará útil comentar brevemente la lógica que subyace en algunos de los procesos que la Biología más actual reconoce como responsables de la alteración de la información.

Supongamos que desde el entorno del sistema biológico existe un cierto nivel de agresividad sobre su DNA. Esta capacidad de agresión del entorno es inevitable en cualquier circunstancia ya que la estructura del DNA tiene una estabilidad limitada a intervalos energéticos restringidos y una reactividad química concreta frente a determinados reactivos. La consecuencia de nuestra hipótesis será una permanente alteración de la estructura y por ello una continua degradación de la información.

La conservación del contenido informativo queda, sin embargo, garantizada en el caso en el que exista un mecanismo mediante el cual, permanentemente, se verifique que la información del DNA permanece intacta y que en el caso en el que se detecte alteración en una zona concreta, ésta sea eliminada y restaurada en su primitiva secuencia mediante polimerización dirigida por la otra cadena inalterada del DNA donde se encuentra la secuencia complementaria de la zona inicialmente alterada.

El balance de actuación completo, en caso de eficacia absoluta del mecanismo de reparación, sería la invariancia permanente de la información incluso en un ambiente de constante agresividad contra su DNA.

Actualmente y desde un punto de vista estrictamente enzimológico, está ampliamente verificada la existencia de sistemas enzimáticos complejos que realizan la reparación de las alteraciones del DNA por procesos cuya lógica es semejante a la que hemos esquematizado.

El paso siguiente consiste en aceptar un mínimo de probabilidad de error en el funcionamiento de los mecanismos que realizan la restauración de la secuencia primitiva. Con ello, estamos admitiendo una permanente alteración del contenido informativo, proporcional a la frecuencia de funcionamiento de dichos mecanismos o, lo que es lo mismo, a la presión agresiva del entorno sobre el DNA.

Desde esta perspectiva puede pensarse que el proceso evolutivo está condicionado por dicha presión agresiva sobre el DNA ya que al obligar a un funcionamiento permanente de los procesos de reparación, mantiene el contenido informativo de todo el sistema biológico en una ligera incertidumbre en torno a una cierta trayectoria. En esta zona de incertidumbre informativa actuaría la selección natural corrigiendo constantemente la orientación.

Paradójicamente, la agresividad del entorno se convierte en un peligroso pero imprescindible aliado en la ineludible conquista de información que exige la evolución genética.

Nos encontramos a estas alturas ante una teoría que, mediante un proceso unitario conceptualmente simple (no importa lo complejos que sean los sistemas enzimáticos necesarios para llevarlo a cabo), hace compatibles las contradictorias exigencias que, desde un punto de vista informativo, plantea todo sistema biológico: conservación e incremento coherente de la información genética.

Pero aunque no haya inconveniente, antes al contrario, en reconocer a estas hipótesis un enorme atractivo desde una perspectiva biológica, parece que, al menos en primera aproximación, resulta extremadamente difícil situarlas dentro de un campo estrictamente físico.

Para ahondar en esta dificultad debemos reconocer que existe amplia evidencia experimental de que agentes físicos, como las radiaciones ionizantes, o químicos, como muchos mutágenos, deben ser

capacidad inductora de mutaciones, a ser meros iniciadores de los procesos enzimáticos de reparación a que nos hemos referido.

Todo parece quedar reducido exclusivamente a una cuestión enzimológica.

Véamos, sin embargo, cómo una simple transposición conceptual permite realizar un cambio de perspectiva.

Basta simplemente pensar que la evolución ha seleccionado, como base de su sistema de autoprotección del contenido informativo del sistema biológico, un mecanismo que en lugar de verificar la integridad de la información almacenada en el DNA, comprueba que, en todo momento, la estructura bihelicoidal conserva intacta su simetría. Se sustituye el reconocimiento de la invariancia de la información por la que tiene la estructura material que constituye su soporte.

Otra vez la simetría entra en escena, causa según von Weizsäcker de que un cristal sea cristal. Y otra vez la física puede sentirse, con su saber, en propio hogar.

En lenguaje de biología molecular esta suposición implica la existencia de una proteína que presente en alguna zona de su molécula, un ordenamiento tridimensional complementario de la estructura bihelicoidal. Esta proteína debiera encontrarse recorriendo permanentemente el DNA en misión de reconocimiento. La detección de cualquier perturbación de simetría en la estructura bihelicoidal supondría la señal de puesta en marcha de los mecanismos enzimáticos de eliminación y resíntesis de la zona polinucleotídica alterada.

El gran potencial heurístico, desde un punto de vista biofísico, que encierra una tal transposición conceptual se pone de manifiesto en las siguientes consideraciones.

La disimilitud de muchos agentes, capaces de inducir mutaciones, resultaría ser una simple paradoja ya que, en el fondo, la mutación sería una consecuencia del mal funcionamiento de un mecanismo unitario puesto en marcha por algo común a todos los agentes mutagénicos: inducción de perturbaciones de simetría en la estructura bihelicoidal del DNA. Importa menos el tipo de alteración, siempre que la estructura se perturbe, que la frecuencia con que se produzca, ya que lo que juega es una probabilidad de error en la reparación. La intensidad de la agresividad del entorno adquiere más importancia que su propia naturaleza.

El reconocimiento de una perturbación estructural, acontecimiento primordial en el proceso, tiene un carácter esencialmente biofísico ya

que se trata exclusivamente de una interacción local entre dos macromoléculas donde sólo pueden ponerse en juego interacciones no covalentes del tipo de enlaces de hidrógeno, electrostáticas, de van der Waals y de dispersión de London. El problema es, pues, tratable desde una perspectiva física y, esto es muy importante, sólo desde ella puede adquirirse su verdadera dimensión.

Pudiera esperarse que nuestro conocimiento actual de la naturaleza de las alteraciones del DNA estuviese muy avanzado, en especial en el caso de las radiaciones ionizantes y de compuestos químicos de uso corriente. Sin embargo, más allá de correlaciones dosis-efecto, más o menos rigurosas y de estimaciones más o menos precisas respecto a la formación de discontinuidades en el DNA, poco más puede recogerse en la bibliografía. Ello tampoco debe sorprender demasiado si se considera que sólo dentro de intentos de generalización como el que nos ocupa, tiene sentido el conocimiento exacto de la naturaleza de los distintos tipos de alteraciones inducibles en el DNA por los diferentes agentes de agresión.

La verosimilitud de las hipótesis anteriormente expuestas puede fundarse en una metódica consideración de la estructura del DNA que conduce a reconocer como posibles muy pocos tipos de alteraciones estructurales y a comprobar que en todos ellos se produce una perturbación local de simetría.

La alteración estructural más importante en un DNA es la interrupción de la cadena, la discontinuidad polinucleotídica o, en lenguaje de especialistas, la rotura simple.

Cuando la discontinuidad se produce como consecuencia del ataque de un agente dotado de la especificidad que caracteriza a las reacciones enzimáticas, la precisión topológica de la interrupción llega a ser total: un único enlace esterfosfato se hidroliza.

Aparentemente, una discontinuidad de este tipo no tendría que afectar a la simetría de la estructura bihelicoidal ya que no perturba ninguna de las interacciones que la sustentan. Sin embargo, en la hidrólisis se ha liberado una carga negativa en el grupo fosfato y además éste ha incrementado su libertad de rotación alrededor del enlace que le une al azúcar. Esta libertad de rotación originará inevitablemente la modificación de la constante dieléctrica microscópica en el entorno inmediato a la rotura y por ello no sería sorprendente una desestabilización local que se refleje en una mayor o menor pérdida de simetría en la estructura bihelicoidal.

En el caso en el que la discontinuidad polinucleotídica sea consecuencia de ataques debidos a reactivos químicos, mucho más inespecíficos respecto al conjunto de enlaces presentes en la estructura del DNA, es fácil suponer que la perturbación estructural alcance grados mucho más amplios.

Este es el caso, especialmente, del ataque por radicales libres que son, en realidad, las especies químicas reactivas que se inducen en la acción de tres conocidos agentes mutagénicos: las radioacciones ionizantes, las reacciones redox catalizadas por metales de transición y la descomposición fotoquímica de peróxidos. En el caso de ataque radicalario existe, incluso, un estado transitorio durante el cual el propio DNA se convierte en radical libre y llegan a tener lugar interesantes fenómenos de migración electrónica a lo largo de la cadena polinucleotídica con la consiguiente falta de localización de la perturbación.

En cualquier caso, el producto final estable de estos ataques por radicales supone la aparición de grupos funcionales, generalmente hidroxilos o carbonilos, completamente insólitos y muchas veces incompatibles con la estructura bihelicoidal.

Existe, finalmente, un caso en el que la perturbación conformacional de la estructura no es consecuencia de una discontinuidad polinucleotídica sino que es intrínseca.

Nos referimos a las alteraciones fotoquímicas producidas en el DNA por absorción de radiación ultravioleta, directamente en las bandas correspondientes a sus bases de mecanismos de transferencia de energía entre los estados excitados triplete de las pirimidinas y de la molécula que actúa como fotosensibilizador.

Como consecuencia del recubrimiento de orbitales que se produce en el estado excitado de dos pirimidinas contiguas en la cadena polinucleotídica se forma, paralelamente al eje de la hélice, un anillo covalente de ciclobutano. No se produce ninguna discontinuidad, pero en el dímero de pirimidina formado, las dos bases implicadas se superponen completamente y ya no permanecen giradas ligeramente una respecto a la otra, según el eje de la hélice, como exige la estructura bihelicoidal. Las dos bases inmediatas al par de las que forman el dímero de pirimidina, también ven perturbadas sus interacciones dipolo-dipolo. En consecuencia, y en una cierta extensión no fácilmente estimable, se produce una distorsión profunda de la simetría de la estructura bihelicoidal.

En resumen, parece que lo que es común en la acción sobre el

DNA de los muy dispares agentes mutagénicos es precisamente su capacidad de inducción de perturbaciones de simetría en su estructura bihelicoidal.

La consecuencia lógica de estas hipótesis de trabajo es el intento de comprobar experimentalmente que, efectivamente, todos los agentes mutagénicos producen la distorsión estructural postulada; que la enzima que desencadena el proceso de reparación lo hace por reconocimiento de dicha distorsión y no por otro mecanismo; que este reconocimiento se reduce a la verificación de complementaridad espacial en el complejo DNA-enzima y tal vez, por último, que este mecanismo como todos los verdaderamente esenciales en los sistemas biológicos, es universal.

Es lógico que una traslación conceptual como la que estas hipótesis entrañan, tenga un desplazamiento metodológico e instrumental paralelo desde dominios típicamente biológicos hasta otros de gran predominio físico.

Puesto que se trata de estudiar la naturaleza de las alteraciones estructurales producidas en el DNA, por no importa qué agente de agresión, pero poniendo especial énfasis en lo que a perturbaciones conformacionales se refiere, es obvio que se ha de recurrir al estudio de observables cuya correlación con las distintas conformaciones del DNA haya sido establecidas previamente.

Comentemos brevemente los tres grupos más significativos entre las técnicas actualmente utilizadas en el Grupo de Biofísica:

Los parámetros hidrodinámicos de la macromolécula de DNA están, evidentemente, condicionados por el grado de rigidez que presente su estructura bihelicoidal. Las discontinuidades polinucleotídicas introducen un incremento de flexibilidad que repercute sobre el radio de giro de la macromolécula. Análogamente está perturbado el comportamiento hidrodinámico por la inducción en el biopolímero de los fotoproductos originados por irradiación ultravioleta.

En consecuencia, es de esperar que las determinaciones de coeficientes de sedimentación mediante ultracentrífuga y de viscosidades intrínsecas, constituyan un apoyo inestimable en la verificación experimental de las hipótesis.

Tal vez sea ocioso, al menos para especialistas, llamar la atención respecto a que, por tratarse de macromoléculas de peso molecular en el intervalo de 10^6 - 10^8 daltons y de gran fragilidad frente a tensiones tangenciales, estas determinaciones hidrodinámicas han de

realizarse en condiciones experimentales extremadamente más rigurosas que las habituales en la fisicoquímica de altos polímeros.

Otra fuente de información importante: la simetría a nivel de estructura bihelicoidal no excluye, antes al contrario, necesita la existencia en la cadena polinucleotídica de carbonos asimétricos. No es sorprendente pues, encontrar un espectro de dicroísmo circular en las proximidades de sus bandas de absorción en la molécula de DNA, extremadamente rico en información conformacional.

Con espectropolarímetros de muy alta sensibilidad puede intentarse la observación de perturbaciones locales de simetría por comparación con el espectro de DNA nativo.

Existe, finalmente, una característica de la estructura bihelicoidal de enorme interés conceptual aunque aquí nos referimos a ella desde un punto de vista exclusivamente experimental. Aludimos a la estabilidad de la estructura que es consecuencia de un intenso efecto cooperativo entre las interacciones implicadas en la doble hélice hasta el extremo de que entre el DNA nativo, en estructura bihelicoidal, y el DNA desnaturalizado, en ovillo estadístico monocatenario, existen transiciones, como por ejemplo frente a temperatura, tan bruscas como si se tratase de cambios de fase macroscópicos. En el lenguaje coloquial de los especialistas, se habla de temperatura de fusión del DNA nativo.

Cuando este efecto cooperativo, que requiere gran número de interacciones idénticas, está perturbado por anomalías, se produce una debilitación de estas transiciones netas características de un DNA intacto. El estudio cinético de estas transiciones conformacionales, proporciona información muy valiosa en relación con las alteraciones locales.

Las aproximaciones experimentales indicadas están permitiendo al Grupo de Biofísica de la J. E. N. adentrarse en el tratamiento elemental de la degradación del DNA por muy distintos agentes.

Por conveniencia de simplicidad conceptual el estudio se limita actualmente al llamado mecanismo haplotómico de degradación. Ello supone limitarse a aquéllos procesos en los que los mecanismos responsables de la inducción de discontinuidades polinucleotídicas no tiene alcance para afectar a ambas cadenas de la doble hélice en un mismo acontecimiento. La degradación de la estructura con su consiguiente reducción en tamaño molecular, sucede por coincidencia aleatoria de dos roturas simples sobre cadenas opuestas.

Esta circunstancia tiene la gran ventaja de permitir la propuesta de expresiones formales sencillas mediante parámetros determinables experimentalmente que, al mismo tiempo, llevan consigo un profundo sentido físico por ser exponentes de la estabilidad de la estructura.

Ya en este momento resulta previsible que la propia dinámica de las investigaciones en curso han de exigir desplazarse hacia el estudio de estados transitorios y a requerir el apoyo de sondas ópticas, en el intento de recogida de información sobre alteraciones locales del DNA. En este sentido constituirán inestimable apoyo la espectrofluorimetría para el estudio de los complejos DNA-enzima y la fotólisis en destello para la fotogeneración de radicales libres, así como la instrumentación adecuada para seguimiento de cinéticas en el rango de milisegundos.

Para terminar ha de resultar oportuno, dentro del propósito inicial de subrayar el intrínseco dualismo de la investigación biofísica, llamar la atención sobre la necesidad, a nivel experimental, de una colaboración integrada de técnicas muy avanzadas, tanto físicas como biológicas.

Que la delicadeza y precisión de la instrumentación física, a que últimamente nos hemos referido, no nos haga olvidar que nada podría hacerse sin disponer de DNA de características perfectamente controladas y adecuadas a la experimentación propuesta y de las enzimas de reparación en las cantidades y grados de pureza requeridos y previa verificación de sus correspondientes actividades enzimáticas.

Todo ello requiere un equipo humano e instrumental de la máxima categoría bioquímica, sin cuya base cualquier investigación biofísica corre graves riesgos de flotar en abstracciones exclusivamente formales.

EL PROCESO VITAL

Hasta aquí el estudio biofísico del DNA, a lo largo del cual hemos pretendido mostrar la necesidad de un cierto modo de pensar para adentrarse en la problemática actual.

La vía que va de la biología a la física nos conduce, además, a contemplar un cambio de andadura pausada hacia un lugar en donde la ciencia natural, unitariamente, se integra en el misterioso y fecundo proceso vital, proceso que, en definitiva constituye el motivo de nuestra afanosa y afanada curiosidad por saber por qué y para qué somos hombres.

El avance de nuestro conocimiento de los fenómenos biológicos ha producido a mediados de siglo una revolución de trascendencia superior a cualquier otra anterior, porque integra necesariamente la descripción de los sistemas vivos dentro de un esquema más amplio que debe abarcar la totalidad de la naturaleza. Esta revolución procede de haber puesto en evidencia que la información genética, que es probablemente el condicionante absoluto del comportamiento del sistema, está localizada en una estructura macromolecular, el DNA, esencialmente homogénea con cualquier otra molécula, desde el punto de vista estructural, pero insólita en muchas de sus características.

El proceso vital puede considerarse como la expresión de su contenido informativo, que sucede por mecanismos moleculares, sin que en ninguna de las etapas del proceso sea necesario considerar para su estudio nada más que el hecho de tratarse de moléculas que interaccionan.

Este proceso tiene características dinámicas en tanto que se relacionan en el tiempo y en el espacio. El contenido informativo, en tanto que fenómeno, tiende no sólo a conservarse, sino a incrementarse en una dirección definida, apareciendo así la vida como comportamiento de un sistema material ordenado, que trata dinámicamente de perpetuarse incrementando de modo progresivo su independencia respecto de su entorno.

Puede aparecer así un conflicto entre organización y entropía, del cual pudieran derivarse importantes consecuencias para una visión unitaria del cosmos.

El comportamiento de un sistema biológico en un momento dado está condicionado casi totalmente por lo sucedido anteriormente mientras que, simultáneamente, impone condiciones para lo porvenir. La vida debe ser considerada como un proceso unitario en el tiempo.

«La autonomía de la vida ¿excluye por ventura la existencia de una continuidad constitutiva y genética entre la materia inanimada y la materia viva?». Es una pregunta que se hace Pedro Laín y a la que responde que «es preciso ver los cuerpos materiales, sean vivos o inanimados, como condensaciones de energía diversamente estructurada».

Pero este proceso biológico, en tanto que información, va más allá de cada uno de los niveles de los seres vivos, es decir, de la célula o del organismo, y al considerar los individuos más allá de la sociedad, de la cultura o de la historia. Si un sistema biológico

queda reducido a un contenido informativo que tiende a incrementarse, cabe hacerse la pregunta de cuándo y por qué el umbral de lo inerte a lo vivo ha sido traspasado.

El incremento de autonomía que puede deducirse de los grados de evolución diversos en los sistemas biológicos, marcaría la teleonomía tan grata a Monod, pero siempre cabe plantearse la pregunta de cuáles son las condiciones para pasar de una teleonomía a una teleología, en definitiva, preguntarse: ¿de dónde viene la vida?, ¿a dónde va?, ¿por qué va allí y no en otra dirección?

Son preguntas análogas a las que se hizo Schrödinger sobre la ciencia natural y a las que contesta con el «nosce te ipsum» de la divinidad délfica, o para decirlo con la retórica breve y contundente de Plotino «nosotros ¿quiénes somos en todo caso?», continuando, «quizá estábamos allí antes de que empezase a existir la creación, como seres humanos de otro tipo, o incluso como una especie de dioses, de almas y mentes puras unidas con la totalidad de universo, como partes del mundo inteligibles, no separadas y desmembradas, sino en unión con el todo».

La actual perspectiva de la ciencia de los seres vivos, llámese biología molecular, genética molecular, bioquímica o biofísica parece que no va directamente contra el yo y la autoconsciencia, sino contra su sustrato que es la individualidad.

Se puede resolver el problema del ente vivo, pero queda siempre en el aire la pregunta que en un sentido muy amplio abarca desde el ¿de dónde vengo? hasta el ¿adónde voy?

Ante este planteamiento no puede eludirse el problema de Dios quien, según Ortega, no mide y para quien, en frase lúcida de Zubiri, «no sólo no hay física, sino que no hay ni Naturaleza en este sentido». Es él quien, según Schrödinger, ha construido las piececillas del organismo animal de acuerdo con su mecánica ondulatoria.

Pero al llegar aquí nos salimos ya de la vía que en lo científico va de la biología a la física para traspasar el umbral del recinto en donde la filosofía o la teología tienen que decir su última palabra. Última palabra que no debe quedar enclaustrada en el dominio de un saber específico, sino dicha para el hombre en su concepción total, es decir, el hombre mismo, su prójimo, su entorno de seres vivientes, la luz o la sombra, la clara transparencia o las cosas opacas, el sonido o el ruido, el silencio o la voz ordenada, la soledad o la convivencia, la tristeza o la alegría de vivir en un mundo en el que la crispación no debe hacernos olvidar lo efímero de un tránsito.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

No se pretende dar una reseña exhaustiva ni tampoco incluir citas de carácter singular y específico, puesto que las páginas anteriores quieren, tan sólo, plantear esquemáticamente un problema que, sin duda alguna, puede ser ampliado.

En la redacción se han utilizado principalmente las obras que a continuación se citan:

- BOPP, Fritz, Editor de la obra publicada como homenaje a Heisenberg con motivo de su sesenta aniversario. *Werner Heisenberg und die Physik unserer Zeit*. Friedr. Vieweg & Sohn. Braunschweig, 1961.
- EDDINGTON, Sir Arthur S., *La filosofía de la ciencia física*. Editorial Sudamericana. Buenos Aires, 1946.
- HEISENBERG, Verner, *Los nuevos fundamentos de la ciencia*. Editorial Norte y Sur. Madrid, 1962.
- HELMHOLTZ, H. v., *Handbuch der Physiologischen Optik* (volumenes 1, 2 y 3). Leopold Voss. Hamburg und Leipzig, 1909.
- JACOB, François, *La Logique du vivant. Une histoire de l'hérédité*. Editions Gallimard, 1970.
- JORDÁN, Pascual, *Anschauliche Quantentheorie*. Julius Springer. Berlín, 1936.
- LAIN ENTRALGO, Pedro, y LÓPEZ PIÑERO, J. M.^a, *Panorama histórico de la ciencia moderna*. Ediciones Guadarrama. Madrid, 1963.
- MARCH, Arthur, *Das neue Denken der modernen Physik*. Rowohlt. Hamburg, 1957.
- MONOD, Jacques, *Le hasard et la nécessité*. Editions du Seuil. París, 1970.
- ORTEGA Y GASSET, José, *Vicisitudes de las ciencias*. Obras Completas, Tomo II.
- ORTEGA Y GASSET, José, *¿Por qué se vuelve a la filosofía?*. Obras Completas, Tomo IV.
- ORTEGA Y GASSET, José, *Bronca en la física*. Obras Completas, Tomo V.
- PALACIOS, Julio, *De la física a la biología*. Publicaciones Insula. Madrid, 1947.
- PARÍS, Carlos, *Ciencia, conocimiento, ser*. Universidad de Santiago, 1957.
- SCHRÖDINGER, Erwin, *Ciencia y humanismo*. Editorial Alhambra, Sociedad Anónima. Madrid, 1954.
- SCHRÖDINGER, Erwin, *What is life?* Cambridge University Press, 1944.

SETLOW, Richard B. y POLLARD, Ernest C., *Molecular Biophysics*.
Eddison-Wesley Publishing Company, INC. Pergamon Press. Lon-
don-París, 1962.

WEIZSÄCKER, C. F. v., *Zum Weltbild der Physik* (7.^a Auflage). S. Hir-
zel Verlag. Stuttgart, 1957.

ZUBIRI, Xavier, *Naturaleza, historia, Dios*. Madrid, 1944.

DISCURSO DE CONTESTACION

DEL

EXCMO. SR. D. ANTONIO COLINO LOPEZ

Excelentísimos señores académicos:

Siempre es grato y jubiloso adelantarse y dar la bienvenida al nuevo compañero que, con sus reconocidos méritos y laboriosidad, viene a ensalzar el prestigio de nuestra Academia y ayudarnos a llevar a cabo nuestras tareas: pero, aún, lo es mucho más para el que os representa este acto, cuando se trata del amigo querido, con el que se ha convivido y colaborado durante muchos años. Por estas razones mi gratitud hacia vosotros ha de ser doble por el honor que supone para mi modesta persona haber sido designado vuestro portavoz en tan solemne ocasión, y ofrecerme la singular oportunidad de que sea yo quien haga con justicia y gran satisfacción, el reconocimiento público de sus muchos méritos y cualidades y quien, adelantándome, sea el heraldo de nuestra cordial y alegre bienvenida.

* * *

Armando Durán es Licenciado en Ciencias Exactas y en Ciencias Físicas, en ambas con Premio Extraordinario, y Doctor con Sobresaliente en éstas últimas.

Muy pronto inicia su tarea docente, que ya nunca abandonará; justamente con D. Julio Palacios, el que, según el propio Durán, tuvo gran influencia en despertar su vocación a la Física; con él colabora en sus primeros trabajos de investigación y a él viene hoy a sustituir y a continuar su labor en esta Academia.

Su actividad docente se afianza ganando, por oposición en 1945, la Cátedra de Óptica de la Universidad de Madrid, pero será en la investigación donde Durán forje su personalidad científica y adquiera su gran prestigio.

Apenas, acabada nuestra Guerra Civil, se crea en el Instituto de Física «Alonso de Santa Cruz» la Sección de Óptica en la que Arman-

do Durán es nombrado Ayudante, y en la que inicia las investigaciones que darán como fruto extraordinario el descubrimiento de fenómenos que, por su trascendencia, serán reconocidos internacionalmente como temas importantes a considerar dentro de la Óptica Fisiológica: la miopía y la presbicia nocturna.

Estos descubrimientos y los trabajos que tienen lugar a continuación darán un gran prestigio internacional tanto al Profesor Durán, como también, por su participación en los mismos, al Profesor Otero Navascués; al que rindo homenaje en este momento, pues tenemos la dicha, desde hace largo tiempo, de contar con su presencia como Académico y Secretario Perpetuo de esta Academia.

Tan importantes descubrimientos tienen una amplia y rápida difusión en todos los medios internacionales expertos en la materia. Quizá, a esta sorprendente rapidez de resonancia, contribuye su oportunidad dentro del panorama bélico en el que han tenido lugar.

Son numerosos los laboratorios extranjeros que se apresuran a confirmar estos descubrimientos y sus implicaciones, así como también numerosas publicaciones extranjeras que dan cuenta de sus resultados, reconociendo clara e indudablemente la prioridad de los descubrimientos a Otero y a Durán.

No hay bibliografía, sobre el tema, en que no se cite varias veces los trabajos de Durán o de Otero y Durán, destacando siempre la resonancia de los descubrimientos y la importancia de los trabajos llevados a cabo por estos dos científicos españoles.

Sin embargo, muchas veces un descubrimiento, por su momentánea oportunidad, puede tener una resonancia efímera, fogata que se consume presta, pero en este caso no sucede así; los trabajos de Durán y Otero superan la prueba de la crítica científica y del tiempo, para ser incorporados en los libros de óptica general como parte del acervo científico, poniendo así de relieve su importancia científica y proclamando los nombres de estas dos insignes figuras españolas, para su íntima satisfacción y para orgullo nuestro.

A estos dos nombres, que tuvieron una actuación tan fundamental en los citados descubrimientos e investigaciones, he de añadir el de Don Julio Palacios que también tuvo una brillante participación en los mismos. D. Julio Palacios consideró tan importantes estas cuestiones, que las dio a conocer en su discurso de recepción en la Real Academia de Medicina, para lo cual utilizó, los datos que figuran en la tesis de Armando Durán titulada «*Estudio físico de la miopía nocturna*».

Aunque estos trabajos realizados por Durán en el campo de la Óptica Fisiológica hayan sido tan importantes y brillantes, no nos han de deslumbrar tanto, que no consideremos en toda su valía otros muchos trabajos de investigación que ha realizado en otros campos tan arduos como el de la Óptica Geométrica, Cálculo de Sistemas, etc.

Algunos de estos trabajos han sido recogidos por su originalidad e importancia por el Profesor Weidert, antiguo Director del Instituto de Óptica de Berlín.

Entre los muchos trabajos de investigación realizados por Durán y que por razones obvias no puedo seguir citando, no he de callarme el referente a un nuevo método de medida de aberraciones, que sirvió de tesis doctoral de Carlos Sánchez del Río, quien hace muy poco tiempo leyó también su discurso de entrada en esta Academia. Sirvan estas palabras de felicitación al amigo que también se ha incorporado a nuestras actividades.

La labor científica, de investigación y de docencia, se perfecciona y completa contribuyendo al desarrollo técnico del país aplicando sus conocimientos como Jefe de la Sección de Óptica Geométrica y Cálculo de Sistemas (1941-49), y realizando, durante estos ocho años, numerosos proyectos de instrumentos (anteojos, prismáticos, etc.) para ser fabricados en el Laboratorio y Taller de Investigación del Estado Mayor de la Armada. Pero aún más importante que este conjunto de realizaciones, es el haber creado Escuela en tales materias con tan profundas raíces que seguirán perdurando muchos años después de la marcha de Durán.

Puesto en el que también realiza una tarea análoga, sea de investigación o desarrollo de técnicas aplicadas, es en el de Subdirector del Instituto de Óptica «Daza de Valdés» y de Director Adjunto y después Director en el Instituto «L. Torres Quevedo».

Superpuestas a estas actividades científico-técnicas, lleva a cabo otras de no menos importancia y que me son muy gratas de recordar, pues en ellas he tenido el placer de convivir muchos años con Durán: me refiero a las ejercidas en la Junta de Energía Nuclear. Vocal de la Comisión precursora de la JEN en 1948, desempeña los cargos de Consejero (hasta hoy), de Vicepresidente y Director General Adjunto (1966) y de Director del Instituto de Estudios Nucleares.

Como es de esperar, con toda esta pléyade de actividades tan brillantemente realizadas, ha logrado una prestigiosa personalidad y como consecuencia, de su público reconocimiento, le ha llevado a

ejercer diversos puestos relevantes en la Administración Pública, como el de Director General de Enseñanzas Técnicas (1951-1956). Consejero Nacional de Educación y Decano de la Facultad de Ciencias de la Universidad de Madrid, y, como es natural, a representar múltiples actividades españolas en el extranjero en diferentes cargos, entre los cuales se puede citar el de miembro de la Junta de Gobernadores del Organismo Internacional de Energía Atómica de Viena como representante de España, y el de Vicepresidente de la Conferencia Europea de Biología Molecular. De este último hago cita especial como antecedente del contenido de su discurso.

* * *

Acaban de oír ustedes el gran discurso de Armando Durán y habrán tenido el placer de deleitarse con su contenido extenso, erudito y ameno, en el que se confirma su ciencia y fácil pluma. Pero yo, que he tenido la oportunidad, como después la tendrán ustedes, de leerlo y releerlo, puedo anunciarles y asegurarles que sólo meditando lo que en él se dice, se puede apreciar su profundidad y valía.

A mí, un modesto físico, curioso y deslumbrado por los espectaculares avances de la Biología, me ha surgido muchas ideas, meditaciones y recuerdos. Para poder exponer con un cierto orden algunas de estas ideas me he tenido que imaginar un esquema, que es la exaltación y el homenaje de uno de los mayores hallazgos de la Ciencia: la doble hélice de Watson y Crick.

La Física se pregunta ¿Qué es la Materia? y la Biología ¿Qué es la Vida? Cada una de ellas ha tenido a lo largo de los tiempos su hélice independiente de desarrollo, pero con un paralelismo epistemológico más o menos mutuamente inducido.

Sigamos el camino de la Física a largas zancadas, sin hacer paradas, salvo en los puntos importantes que hayan podido ser trascendentes para la Biología.

Kepler, místico y fanático pitagórico, descubre las primeras leyes de la Mecánica Celeste como un canto glorificador a la armonía con que el Creador hizo los cielos en su conjunto y unidad; con Newton, el Universo pierde su carácter de ideal geométrico, y las leyes mecánicas se reducen a sus partes constituyentes, atracciones o fuerzas entre puntos materiales, y sólo por integración se obtienen las leyes que rigen las unidades superiores: con Laplace y su demonio (el

moderno computador) la Física llega a la exaltación máxima de las ideas del mecanicismo (todo es Mecánica) y del determinismo (todo está escrito): ideas que trascienden a la Biología con la suposición de que todo ser vivo no es más que un mecanismo.

Es curioso, que el siguiente gran avance de la Física, la Mecánica Estadística, aún manteniendo el principio metafísico del determinismo, admita, por razones sólo aparentemente prácticas de la innecesidad del detalle, el azar o la probabilidad. Los resultados teóricos más importantes son la interpretación estadística de la entropía termodinámica, y la teoría de las fluctuaciones con cierta relación con la Teoría de la Evolución en Biología; también aparece, por primera vez (1871), en la escena de la Física, un protagonista que desde entonces tendrá una gran importancia en muchos problemas de la Física y de la misma Biología; el diablillo de Maxwell: muchos hemos sido tentados, desde entonces, por sus falsos milagros y hemos sufrido después, por su causa, triste desengaños.

Pero la Física Estadística elude entrar en la intimidad de la Materia, y es únicamente con la Mecánica Cuántica, cuando se halla una respuesta cierta y rica en consecuencias, aunque sea incompleta, a la pregunta esencial de la Física ¿Qué es la Materia?

Arrancado de la reducción esencial a sólo dos o tres partículas fundamentales, la Física podrá reconstruir el átomo, la molécula, el cristal, etc., y como Armando Durán hace notar en su discurso, la Física dará su valioso soporte a la Biología, abriéndole la inmensa posibilidad de una nueva y revolucionaria concepción material del Universo.

* * *

Abandonemos la Física en su momento de máximo esplendor, e iniciemos el recorrido de la hélice del desarrollo de la Biología. La concepción de la Vida, en los tiempos de Kepler, supone que los seres vivos son una renovada creación milagrosa y permanente del Creador y que las diferentes especies son completamente independientes y forman parte de la armonía conjunta del Universo. Y así como Kepler ha creído que el Creador ha hecho los cielos de acuerdo con las leyes inmutables, pero accesibles a la inteligencia de los hombres, también se piensa que los seres vivos viven y se reproducen (carácter fundamental de la Vida) de acuerdo con las leyes que ha promulgado el Creador, y que también deben ser igualmente accesibles.

Pero la propuesta interpretación de los fenómenos vitales como puros fenómenos mecánicos, no es satisfactoria para muchos: creen en la necesidad de un «factor vital», que transforme la materia inerte y desordenada, objeto de la Mecánica, en un conjunto ordenado y armonioso como es un ser vivo.

Con ello, se introduce en la Biología un principio metafísico (no experimental) y se abre, para siempre, la polémica entre vitalistas y mecanicistas; holistas y reduccionistas; animistas y materialistas, etcétera. La idea del «factor vital», estéril desde un punto de vista científico, tiene la virtud de dar una autonomía científica beneficiosa para la Biología, convirtiéndola en una Ciencia independiente de la Física.

El descubrimiento de que los seres vivos se componen únicamente de células, como unidad básica, y que, además, todo ser vivo procede de una sola célula, concreta, pero adensa, el misterio de la reproducción: Cómo esa primera célula sabe lo que tiene que hacer (la trompa en el elefante), y cómo la realiza, desarrollando la totalidad del ser vivo a partir de su primera célula.

La Genética se inicia con las teorías y experiencias de Mendel (1864), pero éstas están tan fuera de fase con los conocimientos y la mentalidad de sus contemporáneos, que han de ser redescubiertos sus resultados cuarenta años después: No es de extrañar, pues el frailecico austríaco ha tratado de transformar la Genética en un capítulo de la Física Teórica. La estructura de los argumentos de Mendel, su simbolismo, etc., son, con gran sorpresa nuestra, semejante a los que muchos años después, emplearán los físicos para hallar la progenie de la colisión de un nucleón con un pión: Se trata de hallar los caracteres genéticos invariantes para después producir su combinación. Y para comprobar la verdad de sus tesis, los físicos han de montar, conceptualmente, el mismo experimento estadístico, que Mendel imaginó para comprobar la suya.

Los genes, entes abstractos para Mendel, son localizados en los cromosomas al principio de nuestro siglo, y se inicia el gran desarrollo de la Genética, como una mera topología de los genes.

En 1944 (diríamos ayer) tiene lugar el escalofriante descubrimiento del papel del DNA como soporte genético, que está a punto de transformarse en estéril, por la exclusiva modestia de uno de sus descubridores. Avery se ha dado cuenta de que ha revelado en la célula el verdadero material genético, pero no se atreve a darlo a conocer, pues cree que le falta suficiente evidencia experimental; y únicamente:

publica sus resultados considerado el DNA como una especie de transformador genético en el pneumacoco, con lo cual, la trascendencia crucial del descubrimiento queda casi ignorada.

El DNA (ácido desoxiribonucléico) había sido descubierto hacía largo tiempo en el núcleo de la célula y conocida su composición con las cuatro bases de sus nucleótidos: adenina (A), guanina (G), citosina (C) y timina (T); pero su estructura molecular y su papel en la célula eran totalmente desconocidos.

Afortunadamente algunos investigadores se dieron cuenta de la importancia que podría tener el descubrimiento de Avery, y prosiguieron sus investigaciones sobre el DNA. Entre ellos, Chargaff, que tuvo la feliz idea de trabajar con muy diferentes organismos, y halló sus célebres reglas:

$$\begin{aligned} A/T &= C/G = 1 \\ A + G &= C + T \end{aligned}$$

como principio general, lo que ya suponía una buena pista sobre la composición y estructura del DNA.

Así hemos llegado a los principios de los años cincuenta y estamos en vísperas de que se produzca el mayor descubrimiento científico, que quizá ha habido en la vida del hombre. Pero hemos de volver a la hélice de la Física, a la que hemos dejado retrasada y que en su posterior desarrollo tuvo una influencia fundamental en estos extraordinarios avances de los conocimientos biológicos del hombre.

* * *

Volvemos a la Física en su momento estelar, cuando está recogiendo la más rica de las cosechas de su larga y fecunda historia. La Mecánica Cuántica avanza conquistando dominios de organización creciente: El átomo, la molécula, el sólido. La división de los sólidos puros, en aislantes y conductores, surge clara y tajante con las mismas características que ocurre en la realidad. Posteriormente el estudio de los semiconductores lleva al invento de los transistores, de la microelectrónica y posibilita la era de los computadores, en la que hoy vivimos. Gran parte de este manipular con los electrones, átomos y moléculas, etc., y las técnicas experimentales a que dan origen, son base del desarrollo de la Biología Molecular.

La teoría de los cuerpos superconductores se resiste a todos los

intentos y especulaciones (hasta los años 50), aunque se tenga la absoluta certeza de que estará encuadrada dentro de la Mecánica Cuántica. ¿Tendrán aplicación en Biología Molecular? El descubrimiento de superconductores orgánicos sintéticos sugiere tal posibilidad.

En otra rama de la Física (la Electrónica) surgen también avances espectaculares por su variedad e importancia. En la Electrónica, partiendo de elementos relativamente simples (como resistencias, condensadores, bobinas y válvulas) se forman conjuntos o sistemas funcionales de cierta complejidad. Con ello, se introducen nuevos conceptos científicos fundamentales: El sistema, como integración de otros subsistemas o partes, y el tratamiento o manejo de la información, que les unifica y coordina en su funcionamiento.

En un receptor de T. V. se recibe una señal codificada, resultado de la disección de una imagen, reducida a puntos y transmitida en una secuencia lineal, punto a punto. Esta señal ha de ser decodificada y reconstruida la imagen, y todo ello sometido a interferencias y perturbaciones. El diablillo de Maxwell ha de trabajar afanosamente, pues en cada diezmillonésima de segundo ha de separar, seleccionar y ordenar cada parte del mensaje.

Las controversias sobre las diferentes sistemas de transmisión, sistemas de modulación, etc., obliga a considerar el tratamiento de la información contenida en un mensaje, como un aspecto fundamental de la técnica de la comunicación.

Otro nuevo concepto que aparece en la Electrónica de los años 30, es el de la regulación automática o «feed back», con gran sorpresa de los físicos, cuando se enteran de que los biólogos ya lo habían descubierto muchos años atrás y hasta lo habían bautizado con el neologismo de homeostasis.

Aunque, los autómatas sean, en su principio, puras máquinas conceptuales y tengan su origen en el estudio lógico de las Matemáticas (Metamatemáticas) pronto se incorporan a la Electrónica con el enfático nombre de cerebros electrónicos, como al principio se llamaron.

Esta suma de conocimientos científicos, formación de sistemas, regulación automática, manejo de la información, computadores, etcétera, tiene su integración más completa y representativa: ¡como no!, en su aplicación bélica; los radares de tiro automático antiaéreo, verdadera maravilla técnica de la última Guerra Mundial.

La certidumbre de que los seres vivos, en su evolución, han logrado sistemas de regulación y control muy superiores a los inventados

hasta ahora por los hombres, y que mediante su estudio comparativo podrían sacarse grandes ventajas, induce a Wiener a crear la nueva disciplina de la Cibernética (que ha tenido, al menos, una gran resonancia periodística).

En 1945 Schrödinger publica su precioso librito *What is life?*, brillante antecedente y causa de lo que se está diciendo hoy en este salón.

La lectura de este librito produce una profunda impresión en los físicos, especialmente los físicos jóvenes. Para mí es un recuerdo indeleble tres de los temas que suscita: Quizá las leyes actuales de la Física, manifiesta, no serán suficientes para explicar los fenómenos vitales y habrá que descubrir otras nuevas leyes físicas que las complementen (en realidad, con esto, proclama que las leyes físicas serán suficientes), por otra parte, discute y razona que la verdadera y exclusiva alimentación de los seres vivos es la entropía negativa o negentropía (afirmación que a D. Julio Palacios le tornaba irascible siempre que la oía), y por último, que el soporte físico del material genético ha de ser una estructura similar a la de los cristales, pero no con la monotonía compositiva de éstos, sino de tal modo, que su variedad en la composición constituya el mensaje genético. (Extraordinaria intuición en 1945.)

El libro de Schrödinger ejerce una gran seducción e incita a gran parte de los físicos jóvenes a que consideren la Biología como una nueva tierra de promisión, campo virgen para el descubrimiento de nuevas leyes físicas. Muchos físicos, poseídos de un gran entusiasmo y convencidos de que los mismos métodos y técnicas que en la Física han producido tantos resultados extraordinarios también los producirá en la Biología, inician su éxodo de la Física a la Biología. Hay que reconocer que los resultados después obtenidos justificaban sus entusiasmos y sus esperanzas.

Y en 1948, Shannon recoge ideas y resultados parciales que han ido surgiendo a lo largo de los años sobre los problemas del tratamiento y manejo de la información y todo ello lo sublima en una Teoría Matemática de la Información o de la Comunicación, pues de ambas maneras se denomina. Es, entonces, posible ligar los conceptos de negentropía e información, y exorcizar de un modo oficial y definitivo el diablillo de Maxwell, lo que no quiere decir que no pueda volver a sorprendernos con sus falsos milagritos.

* * *

Estamos en los comienzos de la década de los años cincuenta y existe como una mezcla explosiva formada por los conocimientos físicos y biológicos acumulados en espera de la chispa genial que produzca el resplandor, anuncio de un nuevo gran descubrimiento científico. Crick y Watson con la osadía de su juventud, con la obstinación que da la certeza de que llegarán a la meta propuesta, producen la integración de todos esos conocimientos en su modelo de las dos hélices complementarias. Cada hélice del DNA está formada por la secuencia lineal y arbitraria de las cuatro bases A, T, C y G, complementándose las dos hélices de acuerdo con las reglas de Chargaff, formando siempre paridad la A con T y la C con la G. El mensaje genético estará constituido por la larga sucesión lineal de las 4 bases. (En el hombre más de mil millones de bases constituirá su mensaje genético.)

El mensaje genético, la esencia de la Vida, está ya localizado, pero ¿cómo descifrarlo e interpretarlo?

Como físico, algo experto en la Técnica de la Información, y curioso de la Biología, me atreveré a hacer una rápida revisión de las cosas que en tal mensaje habría que leer.

1. *La Cibernética de la célula*

Si la célula es una fábrica de proteínas alucinante por su rapidez y variedad, ¿cómo es posible relacionar el mensaje genético del DNA escrito con las cuatro letras A, T, C y G con los 20 aminoácidos que componen las proteínas? (Justamente esta discrepancia de la composición del DNA y de las proteínas haría pensar, antes y después del descubrimiento de Avery, que el DNA no era el verdadero soporte material del código genético.)

El físico Gamow, conocido por sus aportaciones a la Física Nuclear y especialmente por sus especulaciones acerca de lo que sucedió en los primeros segundos de la Creación del Universo (algunas de sus consecuencias teóricas han sido confirmadas experimentalmente muchos años después) se le ocurrió la genial pregunta de qué código, el más sencillo, hubiese empleado el Creador, si fuese un experto en la Teoría de la Comunicación.

Efectivamente un código de palabras de tres letras (el codón) con las cuatro bases A, T, C y G produce 64 codones más que suficiente para determinar los 20 aminoácidos (a. a.).

Pero si una idea tan simple fuese verdad, ¿cómo sería posible establecer la relación entre cada codón y su correspondiente a. a.? ¿Tratando de establecer correlaciones entre los mensajes genéticos y las proteínas existentes? ¿Cuál con cuál, de los millones de combinaciones posibles?

Tan tarde como en 1960, se duda de que se pueda descubrir tal codificación, si de verdad existe. También se debe a Crick la rotura del código y en pocos años (recordamos aquí a Severo Ochoa) se descubre asombrosamente el código fundamental de la Vida, que queda completado con el llamado «Dogma central», la transferencia irreversible de la información:



Ha habido la suerte, el Creador lo ha querido, de que la traducción del código lineal genético sea secuencial e independiente para cada codón, de modo que el diablillo de Maxwell se materialice en una RNA de transferencia por cada codón y su correspondiente a. a. (el adaptador de Crick).

Hoy se conoce con mucho detalle cómo funciona y se regula la producción de las proteínas en una célula y el ideal sería establecer un modelo que reprodujese todas las actividades cibernéticas de una célula, aunque ésta fuera de un organismo tan simple como una bacteria.

En el discurso de Armando Durán hay un capítulo «Estudio Biofísico del DNA» en el que se relatan las investigaciones llevadas por el Dr. Carlos A. Dávila dentro del Grupo de Biofísica de la Junta de Energía Nuclear, sobre los mecanismos básicos de radio-lesión y de reparación enzimática del DNA.

Tengo que decir, que para mí, tal capítulo es uno de los más interesantes en su discurso: por la precisa presentación de los fenómenos, por la claridad de sus explicaciones, la metodología expuesta, etcétera; todo ello hace que se lea con apasionado interés y útil aprovechamiento, por la importancia teórica y práctica que encierra.

Los sistemas de reparación del mecanismo genético tienen que ser, por fuerza lógica, tanto más importantes cuanto más complicado sea el mensaje genético y por consiguiente han de haber jugado un gran papel en el juego selectivo de la evolución.

Tales investigaciones son un aspecto más de la cibernética de la célula en completo y rápido progreso.

2. *La dinámica del desarrollo biológico*

A principios de siglo, Morgan decidió abandonar la Embriología creyendo que el avance de los estudios genéticos le harían progresar más rápidamente en su entendimiento. La verdad es, que hoy, se ha completado en gran parte el conocimiento genético y la Embriología, sin embargo, ha progresado muy poco, aunque se encuentra en un nuevo período de su desarrollo dominado por la Biología Molecular.

¿Cómo está escrito en el mensaje genético que un ser humano ha de tener dos manos, los ojos azules y tales taras hereditarias? Un mensaje de más de mil millones de caracteres sería imposible de descifrar si no se llegase a conocer su gramática o lógica, que permita conocer otras reglas sintácticas en las que intervengan subconjuntos de genes.

Es realmente interesante preguntarse si los organismos complejos no tendrán en su realización algún mecanismo biológico todavía desconocido. Por esto, en cuanto se descubre un nuevo proceso (por ejemplo, la diferenciación irreversible de las células productoras de los anticuerpos) atrae inmediatamente la atención de los embriólogos moleculares con la esperanza de que ayude a descifrar la clave del desarrollo biológico: la transformación de una sola célula en un ser vivo, tan complejo como el hombre y que se realiza con tan maravillosa precisión.

Un ser vivo es el resultado de la interacción en su desarrollo de las acciones programadas en el mensaje genético y del medio que le rodea y soporta. ¿Cuándo se podrán reproducir en un computador la secuencia de las diferentes fases que llevan un rosal a florecer?

3. *Los instintos o las cualidades innatas*

¿Cómo está escrito en el código genético que los pájaros canten y construyan sus nidos?

Los etólogos pretenden que una gran parte del comportamiento humano está regulado por nuestros instintos o propiedades innatas impresos, en tiempos ancestrales, en nuestro mensaje genético. ¿Hasta qué punto el aprendizaje o la educación social puede modificar adecuadamente tal comportamiento?

La cualidad innata que principalmente distingue al hombre de los animales es el lenguaje, aunque quepan dos posiciones muy distintas: El hombre tiene una capacidad innata para el lenguaje tal que le permite crear los idiomas como un invento social.

El hombre tiene una capacidad innata para el lenguaje que le permite desarrollar socialmente las estructuras de una gramática universal profunda, impresa en el código genético. Tales estructuras serían inaccesibles directamente, y su conocimiento tan sólo podría obtenerse por inferencia (La caja negra de los electrónicos).

En tal sentido sería aún mucho más preciso el significado de la frase «El lenguaje ha hecho al hombre, y no el hombre al lenguaje».

A esta hipótesis de los lingüistas modernos, de una estructura profunda del lenguaje, se han incorporado muchos psicólogos que piensan también en una estructura profunda de los instintos que rige el comportamiento humano.

4. *Las actividades mentales y la Biología*

Armando Durán dedica una gran parte de su discurso a exponer muy afinadas consideraciones, apoyadas en las opiniones de ilustres personalidades, sobre la vieja polémica metafísica de los vitalistas o mecanicistas: holistas o reduccionistas, animistas o materialistas a los que se podría añadir, con licencia jocosa los creyentes o ateos; de derechas o izquierdas, etc., hasta tales extremos llega el oleaje que provoca tal polémica.

Es evidente, que el punto central de la polémica se ha desplazado extraordinariamente a favor de los que dan una interpretación puramente física a los fenómenos vitales. No creo que haya un biólogo actual que dude que la Biología Molecular, asentada en las leyes físicas actuales, pueda dar una explicación completa de la vida; su única frontera posible sería si, aún obedeciendo las actividades cerebrales a las leyes físicas, sus consecuencias mentales o espirituales se escaparían del universo material propio de la Física; pero tal reflexión ya no pertenece a la Física, es pura Metafísica.

Que hay límites a nuestros conocimientos científicos es, en sí, una verdad científica: Cuando se trató de acorralar al electrón en la Física Clásica, se escabulló transformándose en una nube de probabilidad; cuando Gödel trató de integrar sistemas lógicos se encontró que son siempre por sí mismos incompletos; y es desconsolador.

lador y hasta obsesionante para el matemático, que se esfuerza y atormenta en hallar la solución a un problema, que no pueda haber algoritmo ni computador alguno capaz de indicar si tal solución existe, aún para problemas de enunciado sencillo.

Y, por tanto, la vieja polémica puede proseguir eternamente.

¡Viva la Metafísica!

* * *

Señores Académicos:

Termino mi intervención en un tema tan fascinante, como el que nos ha brindado Armando Durán en esta sesión, resumiendo, con satisfacción, lo que habéis tenido el placer de conocer y juzgar directamente de viva voz: el discurso de nuestro nuevo compañero ha sido rico por su contenido, brillante por su forma, hondo en sus conceptos, ameno por su agudeza, y es una confirmación más de la gran valía de Armando Durán y el gran acierto que ha tenido la Academia en su elección.

Estamos ansiosos de que se incorpore a nuestra Academia, pres-tándonos su prestigio y ayudándonos en nuestra tarea y, como portavoz vuestro, me adelanto a darle nuestra cordial felicitación y bienvenida.

He dicho.