

**EL TIEMPO, EL ESPACIO,  
LA VIDA  
Y  
EL HOMBRE**

---

**Pablo Iñiguez**

**PUBLICACIONES**

**UNIVERSIDAD NACIONAL  
PEDRO HENRIQUEZ UREÑA**

**SANTO DOMINGO, REP. DOMINICANA**

**1994**

PABLO IÑIGUEZ

EL TIEMPO, EL ESPACIO,  
LA VIDA

Y

EL HOMBRE

Impreso en la Editora  
de la  
Universidad Nacional Pedro Henríquez Ureña.  
Santo Domingo, Rep. Dominicana.  
1994

Publicaciones de la Universidad Nacional

Pedro Henriquez Ureña

c 1994

UNPHU

Santo Domingo,

República Dominicana

## CONTENIDO

RECONOCIMIENTOS

PROLOGO

PREFACIO .....	1
DESDE EL BIG BANG AL BIOCOSMOS.....	7
LAS ENZIMAS .....	61
LA VIDA .....	141
EL REDUCCIONISMO .....	195
OBSEQUIOS DE PROMETEO .....	253
EL FUEGO .....	263
UNAS BREVES SEMBLANZAS.....	287
JOSEPH PRIESTLEY .....	293
ANTOINE LAURENT LAVOISIER .....	297
SIR HENRY CAVENDISH .....	305
LA NATURALEZA HUMANA .....	309
SOCIOBIOLOGIA .....	323
CIENCIA Y DESARROLLO .....	339
INDICE .....	365

## RECONOCIMIENTOS

Una vez más debo reconocer la extraordinaria ayuda que he recibido de mi querido profesor y gran amigo, J. de la Huerga, M.D. Ph.D. Su profunda investigación bibliográfica, sus sugerencias y sus atinadas correcciones han contribuido a mejorar, notoriamente, el resultado final de esta obra.

Mi joven amigo, Diógenes Aybar Ph. D. contribuyó de manera especial a revisar lo concerniente a las enzimas y tuvo, además, la gentileza de escribir el prólogo.

Agradezco, asimismo, a mi querido profesor y entrañable amigo, el Dr. Nicolás Pichardo, haber leído el manuscrito en sus fases iniciales. Sus críticas, sus correcciones y sus sugerencias me indujeron muchas veces a mejorar el texto.

No puedo omitir la revisión que hiciera el Dr. José Albaine, en los inicios de labores.

En el aspecto literario, mi dilecto, Don Rafael Torrella V. sacrificó, en aras de la trasatlántica amistad que nos ha unido por varias décadas, parte de sus merecidas vacaciones en la Florida, para leer y corregir el manuscrito.

A mi querido amigo, José Hermida, insustituible paño de lágrimas ante la Macintosh, por todas sus atenciones y el interesante diseño de la portada.

## RECOMENDACIONES

Al Arquitecto Roberto Bergés, Rector Magnífico de la Universidad Nacional Pedro Henríquez Ureña, por decidir que nuestra querida casa de estudios hiciera suya la publicación de esta obra. Lo agradezco como un honor más que me confiere la UNPHU.

Finalmente, a mi cara mitad, por su paciencia y tolerancia ante mis interminables diálogos con la computadora.

A todos, gracias del alma.

P.I.

## PROLOGO

Leemos un libro porque nos interesa la opinión del autor, porque es de nuestro interés el tema tratado, por las informaciones que en él queremos encontrar, para entretenernos, y muchas otras razones. Difícilmente encontramos una obra que satisfaga todas nuestras exigencias, mucho menos hay que nos sorprendan con ideas e informaciones inesperadas, más difícil es todavía que la lectura sea, además de instructiva, amena. Pablo Iñiguez intenta satisfacer todas estas condiciones en el presente libro; gran y difícil tarea la que se ha impuesto, pues no podrá satisfacer a todo el mundo, son muchos y variados los gustos e intereses para lograr este empeño; sin embargo, aun reconociendo esta limitación el autor lo intenta.

Para atreverse a intentar semejante tarea es necesario ser poseedor de una serie de cualidades que, paradójicamente, deben ser compartidas con el lector, esto es, por la naturaleza misma del trabajo se está restringido a un grupo de lectores con los cuales se comparten características que les permiten a ambos, autor y lector, asociarse en el momento de la lectura.

Quien lea "EL TIEMPO, EL ESPACIO, LA VIDA Y EL HOMBRE" irá reconociendo cualidades de su autor que lo definen como una personalidad densa e intensa.

Para enumerar algunas, encontramos:

- Una visión armonica del conocimiento humano acerca de la naturaleza y su fenomenología.
- Fe en la capacidad del hombre para hacer uso sin límites de los "Obsequios de Prometeo".
- Amor a la ciencia como acervo cultural y como arte mismo.
- Deseo intenso de hacer sentir este amor y esa fe a aquellos a quienes aún no han llegado.
- Plena convicción de que los males sociales del hombre se deben a la ignorancia.
- Desesperado intento de contagiar al mundo con este amor, esta fe y su entusiasmo, de enamorar a los jóvenes dominicanos para que salgan del obscurantismo, y dejar su legado a las generaciones presentes y por venir.

Este es el equipaje con que el Dr. Pablo Iñiguez se lanzó a la presente aventura, aventura en la que usted, lector, está a punto de acompañarlo. En este empeño el autor se ha impuesto llevar a cabo la difícil tarea de informar y entusiasmar de una manera efectiva a una amplia gama de lectores sobre temas tan disímiles y aparentemente inconexos, más aún, cuando se habla de conceptos todavía controvertidos en sus respectivas especialidades.



Si se mira detrás de la trama, se encontrará que lo que permite al autor hacer esto, es su concepción filosófica de la ciencia, en la que ésta (la ciencia) es vista como un todo armónico donde las especialidades están sólo, aparentemente inconexas. El Dr. Iñiguez trata de llevar al lector por el laberinto del saber y del pensar científico siguiendo un hilo que sólo su visión unificadora le permite desarrollar, él se vuelve Ariadna para el lector. Además los extremos de este hilo: los filósofos griegos clásicos y los últimos avances de la ciencia del Caos y la Complejidad, refuerzan grandemente la convicción del autor.

A mi juicio, uno de los aspectos más importantes de esta obra es su énfasis en el drama humano relacionado con el quehacer científico; pues el público, generalmente, desconoce este aspecto de la vida de los hombres de ciencia, y tiene una idea glamorosa de esta actividad humana. De esa manera, el común de la gente aprende a apreciar el legado de esos grandes hombres, que, por encima de sus pequeñeces y vicios humanos, empujaron y siguen empujando a la humanidad fuera de las cavernas.

Una pregunta que todo lector debe hacerse es: ¿Se parcializa el autor? Fue muy cauto cuando juzgó la vida de aquellos gigantes, pero, inconfundiblemente, deja entrever sus preferencias.

#### IV

En cuanto a las diferencias filosóficas y las posiciones científicas encontradas, Pablo Iñiguez no esconde su entusiasmo por las más arrojadas, innovadoras y revolucionarias, delatando un aspecto importante de su personalidad.

Aunque vale decir que en el capítulo acerca de la "NATURALEZA HUMANA", área extremadamente volátil hoy en la ciencia, se siente un desapego inusual en el autor, tocando sólo las posiciones clásicas en esa área de la ciencia.

El lector hallará en este libro extensión y profundidad en el tratamiento de temas apasionantes, en lo científico, en lo filosófico y en lo concerniente a las humanidades, con una variedad de objetivos aparentemente distantes, a los que finalmente le confiere la coherencia que da justificación a la obra y aclara su mensaje.

En el capítulo inicial se propone una idea conciliatoria frente a la mortificante incompatibilidad del continuo espacio-tiempo que nos impone la física relativista y las percepciones témporoespaciales que nos proporcionan nuestros órganos sensoriales.

Sin embargo, aunque así de simple se resume la idea central del capítulo, se nos ofrece de un solo vistazo la historia del universo "Desde el Big Bang Hasta el Biocosmos", y concluye el autor con su visión de cómo cambia el universo con la aparición de la conciencia humana en el mismo.

## V

Al delinear su concepción personal del Biocosmos, el autor nos muestra la importancia de la presencia del hombre en el universo, y mientras se indican sus consecuencias, se introducen los controversiales "Principios Antrópicos" junto a los conceptos biológicos y exobiológicos más novedosos.

El capítulo correspondiente a Las Enzimas es, a nuestro juicio, uno de los más interesantes del libro, por la presentación de un modelo conceptual, propio del autor, para explicar la actividad enzimática mediante la mecánica cuántica. Aquí añade a su misión de divulgador el aporte de la creatividad y la originalidad en su pensamiento científico. El profundo sentido didáctico que caracteriza la exposición de este tema, refleja la experiencia acumulada durante varias décadas de actividad docente. Tras una breve introducción, nos conduce por la evolución del conocimiento adquirido acerca de las proteínas y, especialmente, de las complejas moléculas enzimáticas, hasta llegar a los complicados laberintos de la biología molecular y de la mecánica cuántica. Todo discurre en forma agradable, sobre todo, con la introducción de interesantes episodios anecdóticos en los que participan algunas figuras cimeras del mundo científico. De ese modo, se proyecta el sentido puramente humano que no debe pasar desapercibido cuando se describe la interminable lucha por la adquisición del conocimiento.

## VI

Al tratar "La Vida" se introducen nuevos conceptos derivados de los estudios de las complejidades y las situaciones caóticas, que dan a esta obra un innegable valor informativo acerca de esos temas que actualmente estremecen el ambiente académico.

El capítulo dedicado a "El Reduccionismo" nos muestra la importancia que ha tenido esta orientación filosófica en el progreso del conocimiento científico, mientras se indican, a la vez, sus limitaciones en la búsqueda de la anhelada verdad.

A partir de los "Obsequios de Prometeo", la obra se desliza hacia su aspecto humanista. El autor identifica, simbólicamente, a la mítica deidad con nuestro propio cerebro, que es el verdadero responsable de la enorme diferencia que nos separa de las otras especies. "El Fuego" sirve de punto de partida para comparar, tanto en lo humano como en lo científico, a los grandes hombres que nos aclararon su significado.

Tras "Unas breves semblanzas" y el estudio de la "Naturaleza Humana", que incluye a Freud, se presenta como contrapartida, la descripción de las diferentes "Personalidades Psíquicas" propuestas por los eugenicistas y se llega al controversial tema de la "Sociobiología". Finalmente, según la expresión del propio autor, "el último capítulo es un grito de desesperación ante las circunstancias que parecen eternizarse en nuestro suelo."

## VII

Aquí nos demuestra, que a pesar de residir en el extranjero su mente y su corazón siguen íntimamente ligados a la tierra que lo vio nacer.

Diógenes Aybar, Ph. D.

## PREFACIO

Se entiende que el universo constituye una entidad cuyo contenido está en interacción constante y en la cual no puede concebirse el todo sin las partes ni las partes sin el todo.

Asimismo, la existencia del mundo puramente físico y la aparición de la materia viva muestran una relación de secuencia que puede ser fácilmente establecida.

Esto implica una obvia discrepancia entre la concepción del continuo espacio-tiempo, de Minkowski, basada en la teoría de la relatividad de Einstein y las percepciones que nos brindan nuestros órganos sensoriales. Es mi intención hallar una postura conciliatoria frente a esa inquietante disyuntiva.

Con la aparición de la vida en nuestro planeta surge el "Biocosmos", esto es, la representación de toda la materia viva, cuya extensión ignoramos porque sólo podemos referirnos a los componentes biológicos que nos rodean mientras discutimos la posibilidad de que exista alguna forma de vida extraterrestre.

Es necesario señalar algunas diferencias fundamentales entre el mundo puramente físico y ese Biocosmos. Mientras en la constitución del primero hablamos de las "partículas elementales" que nos muestra la moderna física subnuclear, en el Biocosmos encontramos que su "estructura fundamental" es *la molécula*.

Esa molécula controla los mecanismos bioquímicos representativos de los procesos vitales, pues a pesar de que la partícula cuántica responsable de todos los cambios químicos es el *electrón*, éste, al igual que el protón y los átomos biológicamente activos, están sometidos a los efectos generados por la complejidad de la molécula a que pertenecen o de aquellas con las cuales interaccionan. Esa complejidad atañe tanto a la organización estructural como a la actividad biológica de la molécula.

La vida emerge como consecuencia de una tendencia evolutiva inherente a la interacción electromagnética y condicionada por las variaciones del entorno.

Esos criterios son compatibles con la nueva *teoría de la auto-organización en los procesos de adaptación de los sistemas complejos*.

Dicha teoría, propuesta por Christopher G. Langton, de Los Alamos National Laboratory, Norman Packard, de la Universidad de Illinois y Stuart A. Kauffman, de la Universidad de Pennsylvania, es el resultado de sus recientes estudios acerca del caos y las complejidades. Sus consecuencias se extienden a terrenos disímiles y reclaman nuevos enunciados con relación a la Segunda Ley de la Termodinámica. A este respecto, Ilya Prigogine, galardonado con el Premio Nobel de Química del año 1977, ha propuesto, que lejos de marchar hacia el estado de máxima entropía que predice dicha ley, el universo tuvo esa condición en sus orígenes y su evolución se caracteriza, más bien, por la emergencia de estructuras y mecanismos cada vez más complejos, como ocurre con la vida.

Desde otro ángulo, he creído oportuno hacer notar el profundo significado de la incorporación del oxígeno a la actividad fisiológica de la célula eukariótica. El paso de la vida anaerobia a la aerobia constituye uno de los acontecimientos más trascendentales en el proceso evolucionista.

En los casos más avanzados participan dos moléculas asombrosas: La clorofila, como proveedora del oxígeno atmosférico por su participación en la fotosíntesis y la hemoglobina, encargada, a su vez, de transportar el oxígeno en el interior de los organismos vivos. Pero si ambas tienen por finalidad común permitir la utilización del oxígeno y si sus estructuras son notoriamente similares, sus mecanismos fisiológicos no guardan ninguna relación entre sí. Ese es uno de los aspectos sorprendentes de la capacidad funcional de la molécula. Lamentablemente, no es posible incluir en una obra como ésta las características de muchas de ellas, cuyas propiedades permiten orquestar el maravilloso concierto de nuestra complicada fisiología. Se brindan, en cambio, otros ejemplos menos significativos a ese respecto, pero de innegable interés desde el punto de vista evolucionista. Ha sido necesario penetrar en terrenos escabrosos al ofrecer algunos aspectos relacionados con el electrón; con la configuración y la estructuración de la molécula de proteína en sentido general y con los métodos de investigación que han permitido esclarecer los misterios hasta ahora dilucidados.

Ha sido especialmente gratificante para mí, presentar a la enzima como el eslabón que une lo puramente físico a ese Biocosmos que fue definido como entidad en uno de mis primeros libros.



Al extender las ideas personales que expuse originalmente en mi libro, *Quests*, pretendo explicar la actividad enzimática como el resultado de la mecánica cuántica asociada a la conducta de los sistemas complejos y, así, las enzimas aparecen como verdaderos ciclotrones biológicos impulsados por mecanismos de retroalimentación.

No se me escapa que es imposible abarcar todo lo concerniente a las enzimas y que sería una actitud simplista pretender exponer, con un balbuciente esquema, todos los grandes misterios que guardan esas prodigiosas moléculas.

La teoría electrodinámica cuántica nos impone situaciones no sólo sorprendentes sino contraintuitivas, pero las concepciones que nos brindará el futuro dejarán pálidas a las famosas expresiones de Richard Feynman al describir la extraña conducta del electrón. Oportunamente, nos referiremos a ellas con más detalles.

Es mi convicción que en un futuro, quizás no lejano, los conocimientos más importantes acerca del electrón se obtendrán, al demostrar su inexplicable manera de actuar en los procesos esenciales de la vida.

No tengo la menor duda de que se añadirán a esta partícula nuevos atributos más sorprendentes, aun, que las ya conocidas acerca de su comportamiento puramente físico.

Los datos concernientes al proceso histórico que condujo a los actuales conocimientos químicos acerca de las enzimas proceden, en gran parte, de la didáctica obra de David Dressler y Huntington Potter, "Discovering Enzymes."

Al hablar de los misterios de la vida es inevitable tocar lo filosófico y lo religioso. Al llegar a la disyuntiva que surge cuando nos ubicamos entre la fe y el intelecto, debemos aclarar, que la primera, por definición excluye al segundo. El Diccionario de la Lengua Española de la Real Academia Española, reza: " fe: (Del latín *fides* ). La primera de las tres virtudes teologales es una luz y conocimiento sobrenatural con que sin ver creemos lo que Dios nos dice y la Iglesia nos propone". A su vez, en el Pequeño Larousse se lee: "fe, la primera de las virtudes teologales, que nos permite creer aun sin comprenderlas, las verdades que nos enseña la iglesia".

Esto es, que el Intelecto no participa en la creencia que nos impone la fe. Desde luego, la fe y el intelecto pueden coexistir en una persona sin antagonismos entre ambos atributos, siempre y cuando cada uno se exima de invadir los terrenos del otro.

En el Reduccionismo, debo reconocer que no habría sido posible presentar la historia de Max Perutz y la hemoglobina si no hubiera tomado, in extenso, los datos que ofrece la extraordinaria obra de Horace Freeland Judson, "The Eighth Day of Creation".

Al comentar algunos aspectos relacionados con el Evolucionismo de Darwin y Wallace la imagen del hombre aparece en la cima alcanzada, hasta estos momentos, por el proceso evolucionista. Por tal motivo, parece conveniente bosquejar un breve perfil de la llamada "naturaleza humana".

El capítulo dedicado a la Sociobiología fue introducido por los aspectos controversiales que presenta en cuanto a lo filosófico, lo teológico y lo científico.

Se hace referencia al drama de Prometeo, por el conocimiento que nos brindara Esquilo, hace 2500 años, acerca de la mencionada naturaleza humana. Su poderosa intuición y sus ideas, en obvia consonancia con importantes criterios científicos recientemente adquiridos, son verdaderamente estimulantes.

Esquilo nos presenta a Prometeo como el benefactor que nos proporcionó el refinamiento de nuestras percepciones sensoriales, las matemáticas, la astronomía, el uso del fuego, la noción del futuro y otros conocimientos imprescindibles para que el hombre alcanzara el privilegiado sitial que ostenta.

Después de referirme al fuego como uno de los más celebrados obsequios que nos hiciera la mítica deidad, incluyo las semblanzas de los genios que descifraron su significado, a la vez que demostraron la naturaleza del agua y del aire. Este retroceso permite señalar importantes aspectos característicos del ser humano. Las notas biográficas, por ejemplo, nos brindan la oportunidad de ver las similitudes y contrastes que surgen cuando observamos a esos intelectos privilegiados, no sólo como científicos, sino como hombres cargados de virtudes y defectos. El capítulo final, aunque de carácter restringido por su localismo, es un grito de desesperación ante las dolorosas condiciones que parecen eternizarse en nuestro suelo.

Uso negritas cuando quiero hacer resaltar conceptos que de algún modo dan énfasis a mis ideas personales. Cuando eso ocurre con un texto propio de otro autor, las negritas aparecen entre comillas. Las *itálicas* se usan para señalar datos que considero importantes sin que impliquen, necesariamente, ningún señalamiento propio.

DESDE  
EL  
BIG BANG AL BIOCOSMOS

¿QUE HUBO ANTES DEL COMIENZO?

Según los postulados de George Gamow y Ralph Alpher, el universo se originó en el llamado "Big Bang" y se acepta, generalmente, que éste ocurrió hace unos 15 mil millones de años. La pregunta: ¿Qué había antes del Big Bang? obliga a exponer lo siguiente: En 1913 Max Planck señaló la posibilidad de combinar tres de las constantes físicas universales:  $G$  (Gravedad),  $c$  (celeritas, velocidad de la luz) y  $h$  (la constante de Planck), para obtener la menor longitud, la menor masa y el tiempo más corto que pudieran tener algún significado. De ese modo, se introdujeron:

La longitud de Planck =  $2 \times 10^{-33}$  cm.

La masa de Planck =  $2 \times 10^{-5}$  gm.

El tiempo de Planck =  $10^{-43}$  segundo.

Ese tiempo de Planck corresponde a lo que tardaría la luz para recorrer la longitud de Planck que representa, a su vez,  $10^{-20}$  el diámetro del protón. Y se acepta que la idea de extrapolar para llegar a un tiempo cero carecería de sentido.

Prigogine, por su parte opina que: "En cierto sentido el tiempo *precede* al universo; esto es, que el universo es el resultado de una inestabilidad que sucede a una situación previa; el universo sería el resultado de una transición de fase a gran escala."

No puede perderse de vista que la noción de pasado, presente y

futuro es sólo el producto de la actividad fisiológica de nuestros hemisferios cerebrales y esa actividad tiene sus propias limitantes cuando pretendemos representar el infinito. Ninguna abstracción nos permite visualizar la línea prolongada en el espacio que no puede detenerse en ningún punto final. Porque siempre habría algo más para continuarla. Y después del algo más, otra vez, algo más. Sin embargo, lo representamos matemáticamente con un símbolo ( $\infty$ ) y Cantor introdujo los transfinitos de diferentes magnitudes: Aleph Null, Alleph 1, Alleph 2, etc.

Según nuestras percepciones témporo-espaciales, resultantes de la incisión que hacen nuestros hemisferios cerebrales del continuo espacio-tiempo de Minkowski, el momento en que se produjo el Big Bang precede en más de 10,000 millones de años a la aparición de la vida. Eso es parte de nuestra exclusiva percepción del universo. Es la realidad que ostenta el Biocosmos como consecuencia del desarrollo de nuestro cerebro. Es una realidad diferente a la realidad que impone la física relativista para el universo prebiocósmico, pero cada una de esas realidades existe por derecho propio y una no niega a la otra. Ambas constituyen un ejemplo de los opuestos complementarios que tan brillantemente expusiera Niels Bohr.

Según los cálculos de Gamow la nucleosíntesis de los primeros elementos químicos (deuterio, helio 3, helio 4 y litio) ocurre entre el primer minuto y el tercero, después de haberse creado el universo. La aparición de los núcleos atómicos más complicados, incluyendo el carbono, el nitrógeno y el oxígeno que, junto al hidrógeno, son fundamentales en la constitución de las moléculas orgánicas, tienen



A la izquierda George Gamow, co-autor de la teoría del Big Bang, a la derecha W Pauli.

lugar en las pilas atómicas siderales que representan las estrellas mediante el proceso de fusión nuclear. Así se producen, además, otros elementos hasta llegar al hierro. Por encima de este límite se requieren niveles energéticos superiores que sólo se obtienen con las explosiones de las supernovas.

Es oportuno señalar, en este momento, que la síntesis del carbono, requiere la improbable colisión simultánea de tres núcleos de helio (partículas alfa) y que permanezcan unidos.

La vida, como nosotros la conocemos, se basa esencialmente en el carbono, cuya tendencia a formar cadenas y asociaciones cíclicas con uniones entre carbono y carbono (*catenación*) es fundamental para obtener la complejidad molecular que requiere el desarrollo de los procesos biológicos.

El silicón, el azufre y otros elementos poseen también esa cualidad, pero en mucho menor grado.

Fundamentalmente, los postulados de Gamow mantienen su validez y, como se verá en breve, han sido apuntalados con pruebas experimentales realizadas con nuevos recursos tecnológicos, pero la teoría del Big Bang mostraba algunos aspectos perturbadores.

Las modificaciones introducidas por Alan Guth en su "Teoría Inflacionaria" y otras ideas modernas, han tenido por objeto obviar algunas dificultades de la teoría original.

Puede citarse, por ejemplo, la distribución aparentemente ordenada de las galaxias después de la violenta explosión inicial.

Los efectos residuales del gran estallido se perciben, todavía, como tenues ondas difundidas en todas direcciones en la banda de tres

grados Kelvin (3K equivalentes a  $-270^{\circ}\text{C}$ ). Arno Penzias y Robert Wilson recibieron el Premio Nobel en 1978 por haber hecho ese descubrimiento.

En el mes de abril del 1992, científicos de la NASA (National Aeronautics and Space Administration) ofrecieron al público unos resultados experimentales que, según las autoridades más destacadas en esos terrenos de investigación, poseen la mayor importancia para la cosmología moderna. Esas informaciones obtenidas con el satélite, "COBE" (Cosmic Background Explorer), después de un año de intensa labor, han permitido elaborar un mapa con importantes variaciones en la distribución de las micro-ondas residuales difundidas en el espacio. Era necesario verificar la existencia de esas variaciones para justificar la configuración del universo, con la presencia y la distribución actual de las estrellas y galaxias. Pero hasta el momento en que se publicaron esos hallazgos no había sido posible demostrarlas. Entre los primeros en celebrar la importancia de los resultados obtenidos hay que mencionar a Stephen Hawking, uno de los más grandes científicos vivos. A su vez, Carlos Fenk, el renombrado físico de la Universidad de Durham (G.B.), ha calificado el hecho como "el cáliz sagrado o el eslabón perdido de la cosmología moderna."

Por otra parte, Lawrence M. Krauss y Martin White, de la Universidad de Yale, según reporta el "Scientific American" de octubre del 1992, argumentan que las mencionadas variaciones en la distribución de las micro-ondas pueden ser distorsiones producidas por efectos gravitatorios, de acuerdo con las predicciones de la teoría





Stephen Hawking, uno de los mas grandes científicos vivientes, Profesor Lucasian de matemáticas que ocupa la silla de Newton

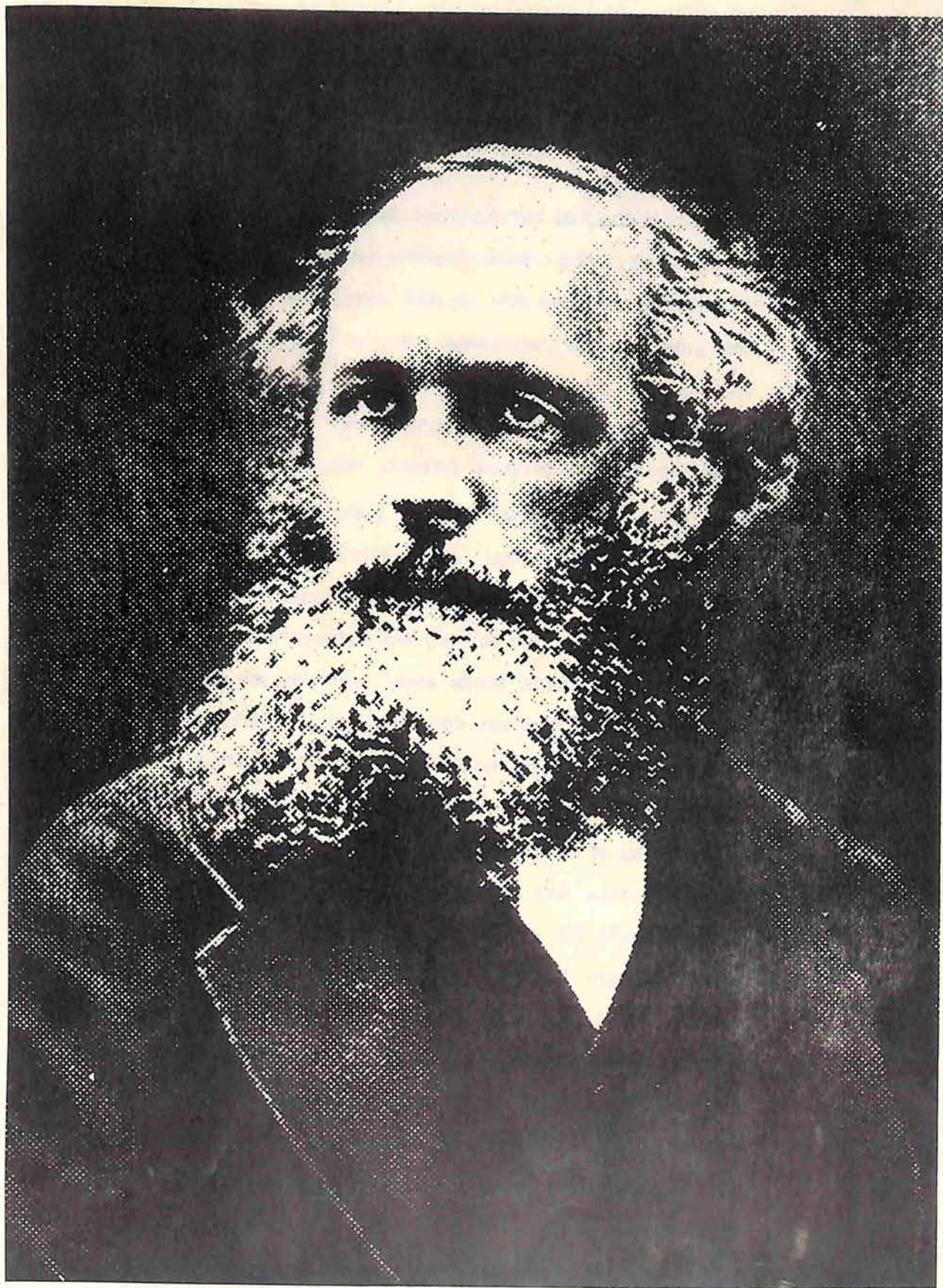
general de la relatividad. Según ellos, "no se debe saltar precipitadamente a la conclusión de que son fluctuaciones de densidad." Krauss, advierte que, por lo menos, algunas de ellas se deben a ondas de origen gravitatorio.

Debe señalarse que A. A. Starobinsky, del Instituto Landau para Física Teórica, de Moscú, señaló en 1979 que la teoría general de la relatividad imponía variaciones en la distribución de las microondas. Pero Martin J. Rees, de la Universidad de Cambridge, y otros cosmólogos, afirman que los cálculos más actualizados sólo permiten atribuir menos de un 10% de las variaciones comprobadas a ondas de origen gravitatorio. Aunque las pruebas experimentales para zanjar de manera incontrovertible esa diferencia de criterios implicarían proyectos muy ambiciosos, la mayoría considera que las conclusiones obtenidas por la NASA son justificadas.

Para obviar la molesta singularidad que implica el Big Bang, Prigogine propone una teoría donde la inestabilidad substituye a dicha singularidad. Así, el origen del universo se explicaría mediante una transformación irreversible que proviene de *otro estado físico*. Estos conceptos se apoyan en trabajos de Brout, Gunzig y Englert quienes introducen la idea de un acoplamiento entre un campo de gravitación y un campo de materia. Las ecuaciones no lineales que corresponden a este acoplamiento admiten diferentes tipos de soluciones entre las cuales puede tomarse la del vacío. Aquí, no habría materia ni gravitación. El análisis de esta solución muestra que es inestable y tiene capacidad para producir partículas de masa considerable. Cuando la masa producida alcanza un valor del orden de cincuenta veces *la masa de Planck*, el vacío se vuelve inestable y se convierte en un sistema materia-gravitación, equivalente al universo.

Es conveniente señalar que aun sin el soporte de los nuevos descubrimientos, muchos de los conceptos gamowianos se consideran más que plausibles y son compatibles con las teorías que pretenden uni-

ficar las cuatro fuerzas o interacciones que rigen el universo. Como se verá después con más detalles, esas fuerzas están representadas por la gravedad, la interacción nuclear fuerte, la interacción nuclear débil y la interacción electro-magnética. Las denominadas Grand Unified Theories (GUT), la Theory of Everything (TOE) Supersymmetry (SUSY), etc. pretenden unificar, regresivamente, esas diferentes fuerzas que emergieron por rupturas sucesivas de la simetría existente al producirse el Big Bang, aunque resulta imposible demostrar, de manera experimental, la unificación de la gravedad y la interacción nuclear fuerte. Quizás no debería sorprendernos si, como complemento, surge, en estos momentos un movimiento científico para tratar de unificar los fenómenos físicos y los biológicos como aspectos diferentes de un mismo proceso. Se pueden vislumbrar valiosos aportes ajenos a nuestros criterios científicos actuales, pero que armonizarán con las constantes físicas universales y ampliarán nuestros horizontes sin violar las leyes que rigen nuestro cosmos. Esa unificación fisico-biológica se añadiría a la unificación de la electricidad y el magnetismo obtenida por James Clerk Maxwell, en 1860 y a la reciente unificación del electromagnetismo con la interacción nuclear débil, confirmada experimentalmente con el descubrimiento de las partículas  $W^+$ ,  $W^-$  y  $Z$ . Por demostrar esa unificación electro-débil, predicha por Julian Schwinger, Steven Weinberg, Sheldon Glashow, y Abdus Salam, les fue otorgado el Premio Nobel de física, en 1979, a Carlo Rubbia y Simon van der Meer. Estos últimos realizaron sus investigaciones en el CERN (Conseil Européen pour la Recherche Nucleaire) instalado en la frontera



James Clerk Maxwell (1831-1879) autor de la unificación teórica del electromagnetismo, en 1860. Su labor se apoyó en los trabajos experimentales de Faraday.

franco-suiza, donde operan grandes aceleradores de partículas. En la actualidad se realizan esfuerzos extraordinarios para demostrar la degradación espontánea del protón. Eso no sólo sería compatible con esos conceptos teóricos, sino que nos permitiría ver a nuestro universo como una entidad tan perecedera como nosotros mismos, aunque su prolongación en el tiempo implicaría diferencias abismales. Si se confirmara esa predicción, nuestro universo debería desaparecer entre unos  $10^{27}$  a  $10^{30}$  años. Un uno seguido de treinta ceros representa una cifra inimaginable, pero desde el punto de vista filosófico esta última demostración tendría grandes implicaciones. No obstante lo fugaz de la existencia del hombre, al ser el único observador consciente del universo, hasta ahora conocido, su presencia transforma La Creación y aun la misma realidad de ese universo carecería de sustentación sin la participación del hombre.

Se debe advertir que cuando se introduce una nueva teoría no se pretende establecer que la naturaleza sea diferente de lo que antes se pensaba. Se ofrece, más bien, otra percepción que nace de la elaboración y proyección de imágenes en el cerebro del *Homo sapiens*, al codificar los estímulos recibidos por nuestros órganos sensoriales. Se acepta, así mismo, que los datos derivados de la actual tecnología experimental nos permiten crear nuevos modelos capaces de explicar, al menos parcialmente, nuestra percepción de la naturaleza. Pero eso no implica, repito, que estemos describiendo a la naturaleza misma. Para los científicos de hoy, la estructura que representa la física moderna no es un edificio de vigas y columnas con sólidas paredes ni se guardan en su interior ejemplos concretos de

lo que ocurre en la naturaleza. Es, contrariamente, una entidad abstracta, formada con ideas que se expresan en diferentes lenguajes, entre los cuales predomina el lenguaje de las matemáticas.

La teoría electrodinámica cuántica nos advierte que *lo aceptado hoy como verdad científica no representa lo que realmente ocurre en la naturaleza, sino la manera en que nosotros lo entendemos y tratamos de explicarlo.*

Esta idea, cuya comprensión exigiría largas explicaciones y muy profundas abstracciones (lo que me induce a ser reiterativo al exponerla), nos permite apreciar, aunque muy superficialmente, el extraordinario valor de las palabras y la necesidad de aprender el léxico científico que caracteriza a cada época. Desde el punto de vista cuántico, por ejemplo, la descripción de los objetos materiales que nos rodean requeriría representaciones y expresiones totalmente divorciadas del concepto de realidad que ostenta el profano. La mesa sólida y dura en que comemos o trabajamos, de acuerdo con nuestra concepción actual de la física, es primordialmente una región de vacío espacial, donde la interacción electromagnética permite a los átomos que forman la madera organizarse de una manera peculiar, capaz de producir nuestras percepciones táctiles y visuales.

Lejos de su apariencia concreta, la mesa sólo existe porque nuestros maravillosos órganos sensoriales crean lo que vemos y lo que palpamos. Esto puede parecer un contrasentido y hasta un desatino. La mesa se ve y se toca; por tanto, es una "realidad palpable."

Pero si comparamos el núcleo atómico con una esfera de 1cm de diámetro, la órbita de un electrón girando alrededor del núcleo ten-

dría un kilómetro de diámetro y todo el espacio comprendido en el interior del átomo representaría un vacío espacial donde opera un campo electromagnético. En una escala parecida el núcleo podría ser representado por un grano de arroz en medio del Palacio Nacional que constituiría el resto del átomo.

#### EL LEXICO CIENTIFICO.

Para expresar su contenido, la ciencia requiere una terminología dinámica, con metáforas renovables, acompañadas de nuevas expresiones matemáticas, cuyos significados no serían explicables con los vocabularios usados en etapas precedentes. Vemos, así, que la mecánica cuántica no admite el determinismo ni la posibilidad de una observación objetiva de los hechos porque el observador es parte del hecho observado y cuando intenta describir la conducta del electrón dicha teoría se ve obligada a introducir imágenes inexplicables y hasta inconcebibles en el plano conceptual preexistente.

Tal ocurre, por ejemplo, cuando se habla de tunelización y de saltos cuánticos.

Asimismo, con los conocimientos recientemente adquiridos mediante los estudios de las situaciones complejas y caóticas, encontramos nuevos vocablos en inglés cuya traducción al español no puede hacerse con una palabra equivalente. A veces, una frase no es suficiente y se requieren párrafos completos para comunicar la idea. La palabra "iteration", por ejemplo, de uso corriente en las matemáticas relacionadas con el cálculo diferencial, hoy, puede traducirse como "retroalimentación que lleva implícita la reabsorción

continua o el repliegue de lo que había antes." Este concepto es aplicable al estudio de sistemas dinámicos, tanto en climatología, como en inteligencia artificial, en la renovación de células en nuestro organismo, en la reproducción de una especie y en muchas cosas más.

A su vez, la palabra "atractor" que es fundamental y de uso frecuentísimo, en estos casos, cuando se aplica al estudio de las turbulencias, por ejemplo, se refiere a la velocidad constante del agua de un arroyo cuando se desplaza sin interrupción. *Velocidad que tiende a reaparecer después de haberse producido una perturbación* por la presencia de un obstáculo (una roca). Si la velocidad es moderada la perturbación no es grande y el atractor puede representarse con un punto; si la velocidad aumenta un poco más, se producen remolinos que al unirse convierten el atractor en un círculo; si el incremento de la velocidad continúa se llega al llamado "strange attractor" que implica la aparición del caos.

El atractor puede representar, también, una cifra que en un sistema de ecuaciones no lineales constituye un valor crítico, pasado el cual, se produce la inestabilidad del sistema y determina la bifurcación progresiva de valores y la aparición de crisis.



### LA ANTIMATERIA, UNA SORPRENDENTE REALIDAD.

Postulada por P. A. Dirac, la noción de la antimateria tiene aparente afinidad con la ciencia-ficción, pero desde el punto de vista científico representa una de las innovaciones teóricas más revolucionarias, demostrada experimentalmente y de utilidad práctica invaluable. En los ya mencionados trabajos realizados en el CERN que permitieron confirmar la unificación electro-débil, se usaron colisiones de protones y antiprotones como fuente de energía para alcanzar los niveles requeridos en la producción de los bosones correspondientes .

Dirac había podido demostrar que la mecánica de matrices de Heisenberg y la ondulatoria de Schrödinger (cuyas ecuaciones han sido el arma predilecta de los físicos para resolver los problemas cuánticos mediante las "funciones de onda"), . eran matemáticamente superponibles. De ese modo se consolidó la nueva concepción y hoy la mayoría de los físicos se adhieren a la llamada "Interpretación de Copenhague", encabezada por Bohr y Heisenberg que veremos después con más detalles..

En ese momento (1929), el interés principal de Dirac era conciliar la teoría de la relatividad con la mecánica cuántica. Ambas habían sido confirmadas, experimentalmente, desde varios aspectos importantes y todavía se consideran como dos de los más grandes triunfos teóricos en la historia de las ciencias. Sin embargo, en algunos detalles se observaba inconsistencia y falta de afinidad entre ellas. Por ejemplo, había una evidente discrepancia con respecto a

la noción energía-masa. Dirac tomó el electrón como punto de partida, por ser una partícula "puntiforme" con características bien definidas e incontrovertibles desde el punto de vista físico. Una vez más, su penetrante sentido matemático contribuyó a consolidar la complicada estructura que sostiene a la física moderna. Pero, mientras revisaba los procedimientos que había aplicado, observó un detalle, que resultaba inevitablemente inquietante.

La fórmula original, introducida por Einstein como consecuencia de su teoría relativista para expresar la innovada relación masa-energía es :  $E^2 = m^2c^4$ .

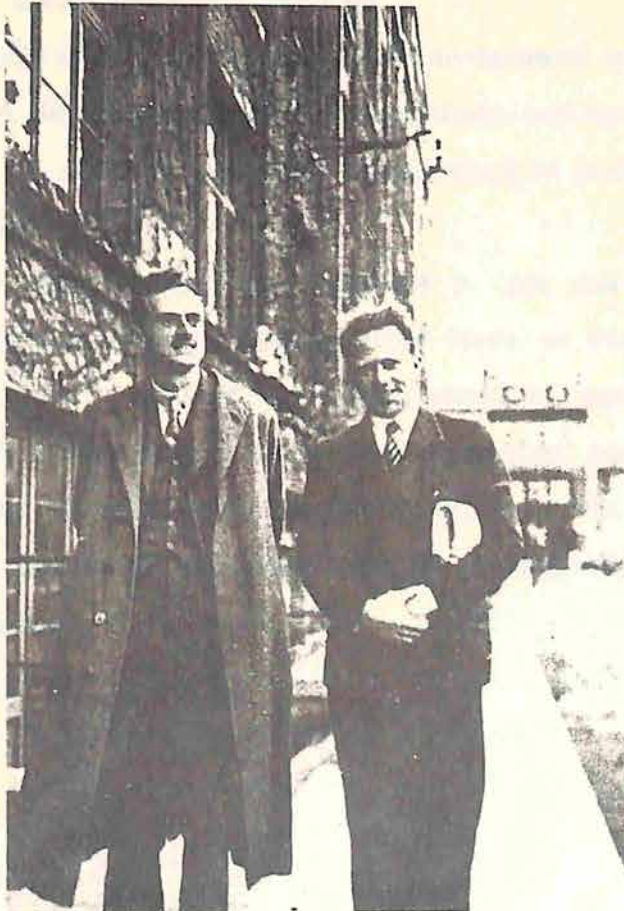
Si se extraen las raíces cuadradas a ambos términos de la ecuación se obtiene la popular:  $E = mc^2$ . Sin embargo, es también correcta, la expresión:  $E = -mc^2$ , puesto que al elevar al cuadrado tanto un número positivo como un negativo el resultado es siempre un número positivo.

Inicialmente, Dirac dejó a un lado esta modalidad de la ecuación donde el segundo término va precedido de un signo negativo, porque implicaba que la energía de un electrón podía ser también negativa y esto parecía carecer de sentido.

El hecho no dejó de preocuparle. Por un tiempo pensó que la partícula con carga positiva opuesta al electrón podría ser el protón, pero la diferencia entre las masas descartaba esa posibilidad. Sin embargo, ocurría que Pauli había introducido desde el año 1925 su famoso "Principio de Exclusión", según el cual dos electrones no podían ocupar una misma órbita a menos que tuvieran spins diferentes (esto es, que no podían compartir el mismo estado cuántico). Y ese



Werner Heisenberg, en los años 30.



A la izquierda, Paul Dirac y a la derecha Werner Heisenberg  
Cambridge en los años 30

hecho influyó para que Dirac concibiera una idea muy distante de lo convencional. Sólo por las excepcionales características de la mecánica cuántica dejaba de ser una total insensatez. Pensó que la existencia de electrones con energía negativa era aceptable con la condición de que fueran invisibles y sólo pudieran convertirse en entidades normales (con energía positiva), cuando recibieran de un fotón la carga energética necesaria. Al ocurrir esa transformación se produciría un hueco en el espacio anteriormente ocupado por la partícula carente de energía. Además, puesto que el electrón tiene una carga eléctrica negativa, la presencia de una partícula equivalente con carga positiva queda automáticamente implícita.

Las ideas de Dirac fueron confirmadas experimentalmente en el año 1932 cuando Carl Anderson descubrió una partícula con las características propias del electrón pero con carga eléctrica positiva y de la misma intensidad .

Dicha partícula recibió el nombre de "positrón" y por esa brillante aportación Anderson recibió, junto a Victor Hess, el Premio Nobel de Física en 1936 . Ya Dirac había sido premiado, junto a Schrödinger, en 1933. Desde que la teoría predice, además, que toda otra partícula tiene su equivalente "antipartícula", el protón tiene su antiprotón, el neutrón su antineutrón, etc. Esas antipartículas constituyen la antimateria.

### LA ASIMETRIA Y EL ORIGEN DE TODA LA MATERIA.

La emisión de energía en forma de rayos gamma en el centro de la Vía Láctea delata la aniquilación de electrones y positrones en colisión. Si en el momento de producirse el Big Bang la distribución de la materia y la antimateria hubiera sido simétrica, el universo estaría constituido por rayos gamma en vez de las diferentes partículas que forman los átomos y las moléculas de todo cuanto existe.

Pero ya han sido propuestos, acertadamente, los mecanismos que explican la existencia de una evidente asimetría con predominio de la materia sobre la antimateria.

Así, nuestra presencia está justificada.

Esta interesante situación puede entenderse mejor si revisamos la simetría propuesta por el llamado teorema CPT, donde la "C" representa la Conjugación de carga en los intercambios de partículas y antipartículas; la "P" corresponde a Paridad en el intercambio entre la localización derecha y la izquierda; mientras la "T" representa la reversibilidad del Tiempo. Antes de 1954 esas tres condiciones constituían una simetría estable en la naturaleza. Como consecuencia, las leyes físicas no debían alterarse si se veían frente a un espejo. Pero en ese mismo año, Tsung Dao Lee y Chen Ning Yang, dos jóvenes físicos teóricos de la Universidad de Columbia, propusieron que, si en verdad, las cosas parecían ocurrir en la naturaleza de acuerdo con ese patrón, no necesariamente tiene que ser así. Señalaron la posibilidad de que la simetría pudiera romperse, transitoriamente, sin que se percibieran sus efectos porque eran instantáneamente cancelados mediante ajustes compensatorios de los otros

factores. De ese modo la simetría propuesta por el teorema CPT, se conserva aparentemente inalterada.

Al ser comprobada esa predicción en el laboratorio, Lee a los 31 años y Yang a los 37 se convirtieron en los científicos más jóvenes galardonados con el Premio Nobel de Física. Lo recibieron en 1957.

Ulteriormente, en 1960 Val L. Fitch y James W. Cronin demostraron que la degradación del mesón  $K^0$  ocurría a un ritmo diferente del que corresponde a su antipartícula. Dicho de otra manera: no era invariante con relación a CPT. Por este trabajo, ambos compartieron el Premio Nobel de Física en 1980. Se ha mencionado la remota posibilidad de que existan estrellas y galaxias constituidas por antimateria y, la NASA (National Aeronautics Space Administration), tiene programados estudios en una futura estación espacial para detectar la presencia de átomos más complejos que el hidrógeno, helio por ejemplo, constituidos por antipartículas.

### ¿ES LA CIENCIA REALIDAD O FANTASIA?

Es difícil comunicar, de manera llana, el mensaje de la ciencia y por tal motivo, muchos opinan que los científicos sólo saben decir las cosas de manera que la gente común no las entienda.

A este respecto quiero incluir la definición que hace Will Rogers, un ingenioso chusco, de lo que es un científico: " Un científico es un hombre que dice haber hallado algo y nadie en el mundo tiene la manera de saber si lo ha hallado o no. Y mientras más él piense en cosas de las que nadie sabe nada, más grande es como científico".

Sin embargo, los hechos nos obligan a reconocer el extraordinario valor de las ideas que rigen el mundo de las ciencias. Se acepta que el parámetro de mayor significación para evaluar una teoría es la confirmación experimental de sus predicciones, sobre todo frente a hechos que no podrían ser enmarcados en los cuerpos teóricos pre-existentes. Y son muchas las predicciones cuánticas y relativistas que han podido ser experimentalmente comprobadas. Pero es fácil hallar otros argumentos que tienen, sin duda, una mayor fuerza de convicción para el profano.

¿Cómo podríamos explicar los adelantos tecnológicos que se derivan de esas concepciones científicas si las mismas fueran artificiosas o erradas? ¿Cómo desconocer la existencia de la televisión, la informática y las conquistas espaciales? Y, sobre todo, ¿cómo ignorar la explosión de la bomba atómica?

Los conocimientos científicos de hoy no parecen compatibles con el sentido común, que tan acertadamente ridiculizara Einstein, pero tenemos que aceptar sus consecuencias.

#### ¿COMO NACIO EL SISTEMA SOLAR?

Con el estudio de las rocas traídas de la Luna, mediante isótopos radioactivos de rubidio, se puede afirmar que la edad del sistema planetario ha quedado definitivamente establecida entre 4,500 y 4,600 millones de años.

El Sol es una estrella de segunda o tercera generación formada con polvo cósmico reciclado en los crisoles espaciales; el sistema planetario requirió el aporte de material que es lanzado al espacio

con la explosión de las *supernovas*. La supernova representa el final catastrófico de una estrella más masiva que el Sol ubicada anteriormente en sus mismas inmediaciones.

Una persona ajena a la cosmología puede preguntarse:

- 1.- ¿Cómo puede afirmarse que hubo otra estrella en esta misma región tantos millones de años atrás?
- 2.- ¿Cómo sabemos que su masa era mayor que la del Sol?
- 3.- ¿Qué pruebas existen de que nuestro sistema solar se formó como consecuencia de esa explosión?

Pues bien, es relativamente fácil hallar las respuestas y cada una contribuye a deducir las otras dos como ocurre cuando se colocan, correctamente, las piezas de un rompecabezas.

Sabemos que los planetas se formaron con el material lanzado al espacio por una supernova, porque contienen gran variedad de átomos pesados. Como ya se ha explicado, la nucleosíntesis que se inicia en las estrellas por fusión de los núcleos de hidrógeno no puede formar núcleos de elementos más pesados que el hierro, cuyo número atómico es 26. Esto implicaría un consumo de energía mayor que la cantidad disponible y solamente con la explosión de una supernova se obtienen los niveles energéticos necesarios para formar los núcleos de los elementos pesados a partir del límite expresado, hasta el uranio, cuyo número es el 92.

Asimismo, la estrella que precedió a nuestro Sol en esta región de la galaxia poseía necesariamente una masa superior a la de éste porque, de otro modo, no podía estallar con las características de una supernova.



Después de formarse el sistema solar se consolidaron las cortezas de los planetas más pequeños que se mueven en órbitas cercanas al astro (Mercurio, Venus, la Tierra y Marte).

Los gigantes jovianos (Júpiter, Saturno, Urano y Neptuno) han permanecido en estado gaseoso y recorren órbitas más distantes.

### ¿ESTAMOS SOLOS?

En la Tierra, por una serie de circunstancias peculiarísimas, surgió la vida. No sabemos si en otro lugar ha ocurrido algo semejante o equivalente. En su interesante obra, "Extraterrestrial Civilizations", Asimov presenta unos estimados, de los cuales extraemos el siguiente resumen:

En nuestro sistema planetario, aunque no se descarta la posibilidad de que exista alguna forma de vida extraterrestre muy rudimentaria, la presencia de vida inteligente está fuera de toda consideración.

En cuanto a otras estrellas que puedan tener planetas con capacidad para albergar formas de vida similares a la nuestra hay que analizar varios factores, tales como la masa, el momento, el espectro lumínico, los efectos gravitatorios, la estabilidad de la estrella, etc.

En toda nuestra galaxia, el número de estrellas con probabilidades de poseer sistemas planetarios se calcula, aproximadamente, en unos 280,000,000,000.

Pero, una estrella con una masa mucho mayor que la masa solar, no ofrecería muchas posibilidades de generar la vida en la forma

que la conocemos aunque tuviera un sistema planetario. Su ecosfera (zona con capacidad de albergar la vida) se iniciaría a una distancia tan grande de la estrella que los planetas ubicados en ella recibirían muy poco calor, mientras sufrirían las consecuencias de las radiaciones con alto poder energético en cantidades inadmisibles para la instalación de los procesos biológicos. Por otra parte, estas estrellas son muy inestables y tanto las variaciones de sus condiciones físicas como la duración de su existencia impedirían que, en su sistema, se desarrollara un proceso evolucionista similar al observado en la Tierra.

Las estrellas mucho más pequeñas que el Sol compartirían esa misma falta de estabilidad y tendrían, además, una ecosfera muy limitada. Aunque las estrellas muy masivas representan una escasa minoría, el número de las muy pequeñas es tan abundante que éstas constituyen las 2/3 partes de nuestra galaxia.

Consecuentemente, la inestabilidad representa un factor importante en la reducción de probabilidades para la aparición de vida extraterrestre, pues el número de estrellas similares a nuestro Sol, en la Vía Láctea, se reduce a unos 75,000,000,000.

Hay que añadir, sin embargo, que entre el 50 y el 70% de ellas, son binarias, esto es, que están acompañadas de otra estrella, y esa condición crea muchas dificultades para el desarrollo de la vida.

Si se promedian los factores mencionados puede aceptarse que, probablemente, unos 52,000,000,000 de estrellas tienen una ecosfera útil.

Es necesario señalar la importancia que desde el punto de vista exobiológico tienen las diferentes regiones de la galaxia.

Las estrellas situadas en la región central están prácticamente apretujadas unas contra otras. Allí se producen enormes desprendimientos de energía por colisiones y explosiones que harían imposible la aparición y el mantenimiento de la vida. Por consiguiente, sólo podemos considerar las estrellas que, como el Sol, están ubicadas en la periferia de la galaxia. Esto reduce en un 10% la cifra anterior y nos deja unos 5,200,000,000 de estrellas con posibilidades de generar vida.

Ahora bien, independientemente de las características de una estrella, para permitir el desarrollo de la vida hay que considerar diferentes aspectos de los planetas que la acompañan.

De hecho, es en ellos donde deberá nacer el proceso cuando sus características ofrezcan los requerimientos necesarios para que surjan y se mantengan los sorprendentes mecanismos biológicos.

Es importante, además, la ubicación del planeta con respecto a la estrella. No puede estar muy lejos, pues el frío intenso y la escasa iluminación constituirían factores negativos; y tampoco puede estar muy cerca, porque las altas temperaturas serían insostenibles. Como consecuencia, la necesidad de una situación intermedia crea restricciones a la ecosfera.

En nuestro caso, la feliz ubicación de la Tierra permite mantener temperaturas capaces de albergar los tres estados físicos del agua (sólido, líquido y gaseoso).

La masa de un planeta representa otro factor de primera importancia. Hasta ahora, las únicas evidencias indirectas de la existencia de planetas que giran alrededor de una estrella corresponden a cuerpos demasiado masivos. Algunos tienen masas muy superiores a la de Júpiter.

En este caso, la fuerza de gravedad haría muy difícil la aparición de la vida con las variedades que conocemos, aunque podría pensarse en una forma de vida acuática que permitiera evadir los efectos de la gravedad, como ocurre con las ballenas. Pero esa modalidad no permitiría el desarrollo de una tecnología aunque se alcanzara una inteligencia bien desarrollada. Los delfines constituyen un buen ejemplo de inteligencia, ajena a la creatividad tecnológica.

La vida terrestre, tras la liberación del ambiente acuático original y la adquisición de la habilidad manual, ha permitido alcanzar el desarrollo de nuestra tecnología.

Sin embargo, los modelos obtenidos mediante estudios de cómputos sugieren que, al formarse un sistema planetario alrededor de una estrella parecida a la nuestra, sería muy probable que se obtuvieran conjuntos similares al sistema solar, con planetas pequeños y sólidos ubicados en la cercanía de la estrella, mientras los gigantes gaseosos se formarían a mayores distancias. Pero los mismos estudios sugieren que una gran mayoría de los planetas ubicados en las posiciones correspondientes a la Tierra y sus vecinos estaría formada por cuerpos unas veces similares a Venus y, otras, semejantes a Marte, mientras las características de la Tierra aparecerían de manera excepcional, pues ésta, adquirió las condiciones que

posee, en vez de parecerse a uno de los otros, sólo por un estrecho margen. Es necesario ser muy optimista, para pretender que se produzca un número relativamente alto de tales excepciones.

Además, la Luna comparte nuestro lugar en la ecosfera casi como un planeta hermano, pero en ella no pudo surgir la vida. La retención de una atmósfera es indispensable y para lograrla se requiere la fuerza de gravedad correspondiente a una masa mínima cercana a la masa terrestre. La Luna no pudo alcanzar el límite requerido y carece de ella. Si partimos de ese ejemplo y admitimos que uno de cada dos planetas situados en la ecosfera de una estrella sea similar a la Tierra, el total de ellos alcanzaría cerca de 1,300,000,000.

Pero, todavía, un planeta con esas características, para ser habitable, debe recorrer una órbita cercana a la circunferencia, pues si la órbita fuere de configuración muy elongada parte de su trayectoria lo llevaría muy cerca de la estrella madre y las temperaturas serían extremadamente altas. Mientras, en el otro extremo, a una gran distancia de la estrella se producirían largos y oscuros inviernos. Si bien esto no elimina la posibilidad de que se desarrolle una forma de vida adaptada a esas circunstancias, lo cierto es que la hace muy poco probable. Estas restricciones reducirían el número de planetas habitables en nuestra galaxia a 650,000,000, lo que constituye una cifra mucho menor que el total de seres humanos. Se menciona este dato por las siguientes relaciones de masa. La masa de un ser humano es el promedio geométrico entre la masa atómica y la masa planetaria, mientras la masa del planeta es el promedio geométrico de la masa atómica y la masa del universo.

Estudios recientes con situaciones simuladas mediante imágenes virtuales obtenidas con computadoras, agregan datos muy importantes con respecto a las relaciones Tierra-Luna y sus consecuencias biogenéticas. Todo parece indicar que la presencia de nuestro satélite contribuye de manera inequívoca a la estabilización de los climas y las estaciones terrestres. Sin ella podrían producirse variaciones con más de 100° F por encima o por debajo de los límites actuales. Esa sola condición no habría permitido la aparición de la vida sobre el planeta. Además, las estaciones se deben a la inclinación constante del eje de la Tierra a 23° de la vertical, y se afirma que la regularidad de esas estaciones se debe a un efecto colateral de la presencia de la Luna, pues sin ella el eje sufriría un bamboleo cuyas variaciones serían perceptibles en millones de años. Trabajos publicados en "Science" y "Nature" demuestran que eso ocurre en Marte y se interpreta que la diferencia radica en la presencia o ausencia de un satélite con suficiente masa. Los que posee Marte son demasiado pequeños y no pueden impedir el mencionado bamboleo.

Por tanto, parece obvio, que las relaciones gravitacionales Luna-Tierra proporcionan la estabilidad necesaria para el surgimiento y la perpetuación de la vida.

Por su parte, Frank Drake, de la Universidad de Cornell, introdujo un sistema de ecuaciones mucho más ambicioso, con el cual pretende derivar hasta la evolución política de las posibles civilizaciones extraterrestres.

Ernst Mayr, en cambio, señala que cada paso conducente a la aparición de vida inteligente en la tierra era en extremo improbable, y

que la evolución hasta culminar con la presencia del hombre fue el resultado de la acumulación progresiva de millares de episodios sorprendentes. "Es un milagro, nos dice, que el hombre apareciera en la faz de la tierra y sería un mayor milagro, todavía, si el hecho se repitiera en cualquier otro lugar".

Empero, los recientes trabajos de Christopher Langton, Norman Packard, Stuart A. Kauffman y John Holland relacionados con la tendencia a la auto-organización de los sistemas complejos, introducen nuevos aspectos que hacen menos abstrusa la aparición de un proceso evolutivo con sentido biológico. Ellos mencionan la posibilidad de que algunas moléculas de proteínas relativamente sencillas, pero con actividad catalítica, iniciaran el proceso de copia y reproducción de sí mismas antes de que surgiera el ADN.

Los algoritmos genéticos de Holland y la conducta de los llamados "organismos virtuales" simulados mediante programas de computadoras ofrecen interesantes innovaciones.

### ¿QUE SOMOS?

Por definición, somos una forma de vida inteligente basada en el carbono que emergió en un planeta perteneciente al sistema de una estrella tipo espectral G2. De este hecho se infiere que cualquier observación hecha por el hombre será, necesariamente, autoselectiva.

La concepción cosmológica del Big Bang implica, además, un universo en expansión y, como corolario, su tamaño está en íntima relación con su edad. Por tanto, su extensión de unos 15,000 millones

de años luz se debe a que tiene la misma cantidad de años de existencia. Ese tiempo es imprescindible para el surgimiento, la organización y la evolución de vida inteligente. Por consiguiente, para que la nuestra floreciera era necesario un universo con las grandes dimensiones que posee.

El tiempo requerido para que en una estrella se produzca la nucleosíntesis del carbono y de otros elementos bioactivos es, aproximadamente, la duración promedio de una estrella de la "secuencia principal" y corresponde a la siguiente expresión:

$$t^* \sim \left( \frac{Gm^2 N}{hc} \right) \frac{h}{mNc} \sim 10^{10} \text{ años}$$

Donde  $G$  es la constante gravitacional de Newton,  $c$  la velocidad de la luz,  $h$  la constante de Planck y  $m_N$  la masa del protón.

Por tanto, para que el universo contenga los elementos químicos fundamentales para la vida, tiene que ser tan antiguo como  $t^*$  y debido a su expansión por lo menos  $ct^*$  en extensión. Pero todavía hay que agregar la presencia en nuestros organismos de aquellos elementos químicos más pesados que sólo pueden formarse con la energía liberada al estallar una supernova antes de la formación de nuestro Sol y de su sistema planetario. A su vez, el tamaño de las estrellas, de las galaxias y del hombre, no han sido tomados al azar, sino que son consecuencias necesarias del equilibrio que requieren las fuerzas de atracción y repulsión en el universo.



### LAS CONSTANTES FISICAS UNIVERSALES.

La Gravedad ( $G$ ), la velocidad de la luz ( $c$ , *por celeritas*), la constante de acción de Planck ( $h$ ) y la constante de Boltzmann ( $k$ ), imponen restricciones inviolables con participación de las leyes que rigen las correspondientes interacciones físicas. Así, la relación entre las masas del protón y el electrón es imprescindible para la nucleosíntesis del carbono. Lo mismo puede decirse acerca de la relación entre la cantidad de protones y fotones en el universo.

Léon Brillouin, sin usar la expresión, trató la constante  $k$  como un *"quantum de información"* y, Cohen-Tannoudji, propuso en su honor, una constante  $b=h/k$  para expresar el costo de información en términos de acción, que es aplicable al caos determinístico. Este ocurre cuando  $h$  y  $k$  se acercan a cero (un límite que no es termodinámico ni cuántico) pero con un cociente finito  $b$ .

En el año 1955 Whitrow intentó explicar por qué el universo tiene tres dimensiones. No lo pudo establecer, pero postuló que tiene relación con nuestra presencia como observadores, pues la dimensionalidad del universo requiere espacios tridimensionales.

### LOS PRINCIPIOS ANTROPICOS.

Los introdujo Brandon Carter y su interés es innegable.

El Principio Antrópico Débil tiene el siguiente enunciado:

*"Los valores de todas las cantidades físicas y cosmológicas observadas no son igualmente probables, pero toman expresiones restringidas por los requerimientos necesarios para la existencia y*

*evolución de una vida basada en el carbono, y el universo tiene que haber existido por muy largo tiempo para que eso ocurriera."*

Este Principio no excluye la posibilidad de otras formas de vida sin carbono, pero nuestras observaciones están restringidas por nuestra propia y especial naturaleza.

A su vez, el Principio Antrópico Fuerte, reza: "El universo necesita poseer las características que permitan dentro de él, en un momento dado de su historia, el desarrollo de la vida que conduzca a la presencia de un observador."

Aunque, a primera vista, los Principios Antrópicos tienen un penetrante aroma teleológico, es necesario señalar que son consecuencias naturales del éxito obtenido por las teorías físicas y cosmológicas más comprobadas. Sin embargo, ese mismo éxito sigue siendo un misterio, pues, como dijera Einstein, *lo más sorprendente de la naturaleza es que podamos explicarla.*

Por otra parte, se ha tenido como punto de partida el conocimiento de algunos componentes básicos e inmutables, que han recibido el calificativo de "Constantes Fundamentales de la Naturaleza." Pero no tenemos explicación para los valores numéricos precisos de esas constantes intocables, sin dimensiones, que no están sujetas a ningún tipo de evolucionismo ni de selección ante ninguna causa conocida.

Para obtener mayor información acerca de esos celebrados y discutidos Principios Antrópicos, me place remitir al lector a la muy comentada obra "The Anthropic Cosmological Principle" escrita por John D. Barrow, Profesor del Astronomy Center de la Universidad

de Sussex y Frank J. Tipler, Profesor de Matemáticas y de Física de la Universidad de Tulane, en New Orleans.

#### TIEMPO, ESPACIO Y UNIVERSO SON VALORES SUBJETIVOS.

Sin la presencia del hombre, el universo carecería de significado; y para entender mejor esa presencia el hombre debe ser enmarcado junto a toda la materia viva, dentro de una entidad contentiva y representativa de ese conjunto único, el Biocosmos

Las características de ese Biocosmos difieren grandemente de las correspondientes al mundo puramente físico que le precedió en la evolución del universo. Esta diferenciación facilita nuevos enfoques filosóficos al incluir en dicha entidad un nuevo ordenamiento de hechos que difieren del macrocosmos y del microcosmos aunque todo esté en interacción

Todas esas entidades se encuentran dentro de un universo que constituye una unidad única e indivisible donde no se concibe el todo sin las partes ni las partes sin el todo.

La evolución de nuestro cerebro hacia la asimetría funcional de sus hemisferios nos proporcionó la especial percepción témporo-espacial que permite establecer una secuencia cronológica en la aparición de los acontecimientos. Eso divide el continuo espacio-tiempo y crea una realidad propia del Biocosmos.

Antes de proseguir conviene advertir que, como consecuencia inevitable de los postulados de la "Teoría Electrodinámica Quántica," nuestro universo representa, una feliz creación de nues-

tro cerebro. Nuestra imagen del universo es proyectada por ese órgano maravilloso, después de elaborar los estímulos recibidos por mediación de nuestros órganos sensoriales.

Habría mucho que decir acerca de la complicada estructura y del funcionamiento de ese órgano que participa en la adquisición, almacenamiento, organización y utilización de los conocimientos y que ha dado origen a la percepción témporo-espacial propia y exclusiva del hombre. El cerebro es responsable de nuestras emociones y de los procesos intelectivos que generan la imagen de nuestro universo. La adquisición de esa percepción témporo-espacial es producto de la asimetría estructural y funcional de los hemisferios cerebrales, en la etapa más avanzada que nos muestra el Evolucionismo.

Esa asimetría, cuya presencia se inicia en algunos mamíferos superiores, constituye una modificación, más importante aun, que el notable aumento de volumen alcanzado por el cerebro humano con relación al peso corporal.

Lo que ocurre con nuestras representaciones oníricas, donde no hay organización temporal de los acontecimientos, podría expresar el funcionamiento de estructuras neurológicas más antiguas que, durante el sueño, se liberan de la acción inhibitoria impuesta por la novedosa asimetría funcional del órgano.

### PRUEBAS EXPERIMENTALES.

La Tomografía por Emisión de Positrones (PET scan) ha permitido establecer la relación entre esa asimetría funcional de los hemisferios cerebrales, la memoria episódica y los estados de ansiedad que se derivan de nuestra particular percepción de lo futuro.

Este aporte, que podría parecer de valor puramente filosófico, representa, sin embargo, una confirmación experimental importantísima de los mecanismos que nos proporcionan nuestra exclusiva orientación témporo-espacial.

Con este procedimiento se forman imágenes planares mediante tomografía computada a partir de los coeficientes de atenuación que muestran los tejidos al interceptar dosis específicas de rayos X. La producción de la imagen se basa en la intensidad y la localización de fotones gamma emitidos en la región de un isótopo donde un protón (P+) es convertido en un neutrón (N) al emitir un positrón (e+) y un neutrino (ν). Esto puede expresarse, brevemente, de este modo:



El neutrino sigue su rauda trayectoria sin ninguna interacción local, pero el positrón, con sólo recorrer unos milímetros, entra en colisión con un electrón (e-). Como consecuencia, ambas partículas se aniquilan y provocan la emisión de energía equivalente a la suma de sus dos masas en estado de reposo, esto es, 1.02Mev.

Dicha energía se materializa en un par de fotones gamma, muy energéticos, que se separan con un ángulo cercano a los 180°.

El PET, es conveniente para el análisis kinético de procesos fisiológicos y bioquímicos, tales como el flujo sanguíneo, el consumo de oxígeno, etc.

Ha sido posible correlacionar las respuestas neurológicas ante estímulos auditivos (verbales y no verbales) con respecto al contenido del estímulo (historia de acontecimientos, acordes musicales, secuencias de tonos) y a la estrategia analítica del sujeto.

Los estímulos visuales de complejidad progresiva y las alteraciones de percepción observadas en el proceso se corresponden con los hallazgos neurológicos.

El estímulo táctil de los dedos y de la mano aumenta el consumo del substrato en el *gyrus post-central*; y el estímulo de la cara y de los labios produce efectos similares en las regiones contralaterales de la corteza parietal.

Constituye un hecho de primera importancia la verificación de la respuesta asimétrica de los hemisferios cerebrales a los estados de vigilancia y de ansiedad, ya que ambos dependen de nuestra noción de lo futuro. Se demuestra, así, la íntima relación de la asimetría funcional de los hemisferios con nuestras percepciones témporoespaciales.

Es conveniente añadir que *el cerebro del recién nacido se comporta inicialmente de manera simétrica y no pierde esa condición hasta los dos años de edad. Desde entonces la asimetría aumenta hasta adquirir su máximo desarrollo en la plenitud del adulto, pero declina con la senectud.*

La división del cerebro anterior en dos hemisferios es relativamente reciente en el proceso evolucionista, pues es exclusiva de los vertebrados terrestres. Aunque las ballenas muestran independencia de cada hemisferio durante el sueño y son capaces de dormir con un ojo abierto y otro cerrado, el mantener en actividad un hemisferio mientras el otro descansa no es equivalente a la asimetría funcional de nuestro cerebro. Eso no ocurre en ningún animal.

Debe añadirse que la evolución del cerebro de la ballena ha tomado 25 millones de años, mientras el del Homo sapiens, sólo tiene cerca de un millón.

Por otra parte, los sorprendentes resultados obtenidos por Benjamin Libet y Bertram Feinstein, en sus investigaciones realizadas en la institución Mount Zion de San Francisco de California abren nuevas interrogantes. Ellos demostraron que *el cerebro se anticipa a la realización de un acto futuro, generando ondas eléctricas relacionadas con la acción que se va a ejecutar, 1.5 segundos antes de que el sujeto haya decidido hacerlo. Esto ocurre en actos tan sencillos como levantar un dedo.*

Francis Crick, co-descubridor con James Watson, de la estructura tridimensional de la molécula del (ADN) ácido deoxiribonucleico, trabaja en un libro que será intitulado: "The Astonishing Hypothesis." En sus párrafos iniciales dice: "La hipótesis sorprendente es que Ud., sus alegrías y sus tristezas, sus memorias y sus ambiciones, su sentido de identidad personal y de libre determinación, no son otra cosa que la conducta de un vasto conjunto de células nerviosas y sus moléculas asociadas".

Tal como pudo haber puesto Lewis Carroll en boca de Alicia: "Tú no eres más que un paquete de neuronas". En una entrevista, añade: "Aun para realizar un acto tan sencillo como mirar, se requiere una extensa actividad neural computada y lo mismo puede decirse al hacer un simple movimiento como levantar una pluma. Un amplio sistema de cómputos neurales prepara la ejecución del movimiento. Se tiene, así, conciencia de haber tomado una decisión, pero no percibimos lo que nos induce a tomarla. Nos parece un ejemplo de libre determinación, pero ese acto es el resultado de cosas que, en esencia, ignoramos."

Nuestra percepción témporo-espacial es tan propia y exclusiva del ser humano, que constituye un desafío a la imaginación tratar de visualizar lo que sería el universo antes de la aparición del hombre, en función de observador consciente. Un universo que, según los postulados relativistas, estaría enmarcado en el continuo espaciotiempo introducido por Minkowski; sin pasado ni futuro, donde todo ocurre a la vez, pero en el cual nadie es capaz de observar lo que acontece. El Sol, la Luna y los planetas existían antes de que llegara el hombre, pero de ninguna manera representaban lo que son para nosotros, ni eran percibidos con las características que nosotros les atribuimos. Esas características son el producto de las proyecciones que hace el cerebro de nuestras mencionadas percepciones sensoriales derivadas de la interacción electromagnética.

Todavía, en las primeras auroras de la humanidad, cuando no se había desarrollado a plenitud esa percepción témporo-espacial, las vivencias del hombre estaban limitadas a lo presente, como las de



cualquier animal. Resulta obvio, que la noción de lo futuro se esboza en el recién nacido desde el primer día de su vida. Como señala J. M. Guyau: "Cuando el niño tiene hambre, grita y extiende sus manos hacia su madre, está expresando la idea de un futuro en embrión y espera su llegada."

En cambio, la noción embrionaria del futuro que puede verse en los animales, sólo representa una extensión del presente limitada a la respuesta adquirida frente a un estímulo. Los entrenadores de animales dependen de la gratificación y del castigo según se obtenga o no, la respuesta deseada ante el estímulo seleccionado. Lo cual, aunque muestra participación de la memoria, no implica mecanismo racional de lo aprendido ni la conciencia de la ejecución de un acto.

Empero, el mencionado futuro en embrión del niño se amplía con el largo proceso de evolución cognitiva que lo convierte en adulto. Los efectos sinérgicos derivados de la experiencia unida al desarrollo, son determinantes para que se adquiriera la noción témporo-espacial de las vivencias.

Según han señalado con acierto Peter Lindsay y Donald Norman, "a temprana edad el niño parece hablar acerca de los acontecimientos que ocurren en su entorno y de los objetos que está viendo, *sólo en presente*. Aunque el niño domina un vocabulario relativamente amplio a nivel pre-conceptual, y aunque ya usa palabras relacionadas con el tiempo, como son: *hoy, ayer y mañana*, lo hace indiscriminadamente, y no tiene conciencia de sus significados hasta cumplir tres años de edad."

Murad Akhundov, miembro del Instituto de Filosofía de la Academia Soviética de Ciencias, en su interesante obra "Perceptions of Space and Time", traducida al inglés con el patrocinio del Instituto Tecnológico de Massachusetts (MIT), expone que "a pesar de la evidencia de un 'reloj biológico' que opera aun en organismos unicelulares, como se ve en el 'ritmo circadiano,' *la percepción de secuencia temporal y las perspectivas distantes son características únicas del ser humano y se alcanzan después de un largo proceso de evolución cognitiva.*"

A esto quiero agregar que el ritmo circadiano no se relaciona con la proyección del tiempo, sino que se manifiesta en función de la secuencia día-noche.

El ser vivo mantiene absoluta interdependencia con el medio que le rodea y sus órganos sensoriales responden a los estímulos que ofrece el entorno. La luz y la obscuridad, el frío y el calor, el ruido y el silencio, representan variaciones ambientales dependientes de la interacción electromagnética a la cual está íntimamente ligado el ser vivo desde su origen hasta las más elevadas manifestaciones de los procesos vitales. De igual manera, para crear la noción de tridimensionalidad, se combina, el desarrollo de la retina como parte de las modificaciones progresivas del cerebro, con el desarrollo del oído y de los órganos que nos proveen nuestras percepciones táctiles bilaterales.

Embriológicamente, la retina representa tejido cerebral modificado para percibir las longitudes de onda incluidas en la porción visible del espectro electromagnético. Estas percepciones son transmiti-

das a los centros de la visión para ser convertidas en imágenes. Pero han sido necesarios muchos cambios para llegar a nuestra situación actual.

Akhundov, nos señala también, lo siguiente: "A medida que los seres vivos avanzaron psíquicamente mediante la diferenciación del sistema nervioso y los órganos propios de las percepciones sensoriales, hubo una evolución concomitante en la reflexión del continuo espacio-temporal."

"Todo esto nos ayuda a entender las raíces animales de la antropogenia. No es necesario descender muchos peldaños en la escalera evolucionista para notar, por ejemplo, que los ojos de los monos inferiores, comparados con los del lémur, se cambian de los lados hacia la parte frontal de la cabeza, con lo cual se facilita la visión binocular del mundo circundante. Ahora bien, la visión binocular no sólo está conectada con la percepción espacial, sino que es requerida para la percepción temporal". Expone, además, que la capacidad de la retina para contribuir a la noción espacial de la visión no es innata, sino adquirida a través de la experiencia. A este respecto nos dice: "El recién nacido, al principio, no parece ver y todavía el niño tiene que aprender a ver; desde el segundo al cuarto mes los ojos del infante están suficientemente desarrollados para poder seguir un objeto con la vista, pero los ojos no pueden todavía examinar ni buscar un objeto."

Akhundov nos muestra su agudo sentido analítico al añadir: "El niño pasa progresivamente de la percepción de una dimensión a dos y luego a tres dimensiones, pero aún después de haberlas adquirido

no es capaz de representar una noción de relieve cuando intenta pintar lo que ve. Es interesante que las pinturas de culturas antiguas, como la egipcia, exhiben esas mismas características."

Vale la pena insistir en las palabras que con milenios de anticipación pone Esquilo en boca de Prometeo para explicar cómo vivía originalmente el hombre y cómo contribuyó la mítica deidad, con sus favores, a transformar esa triste existencia. De ese modo deja implícito un proceso evolutivo y muestra un conocimiento de la naturaleza humana que no sólo tiene vigencia todavía, sino que nos permite apreciar mejor nuestras propias características. He aquí los versos:

"Al principio, eran como bestias sin sentido.

Yo les di posesión de la mente,

porque lo que veían,

lo veían mal y fuera de lugar.

En cuanto a oír, nada oían,

como fantasmas se amontonaban confundidos,

y como en sueños

vivían perplejos la historia de sus días".

Entre mis experiencias personales más significativas con respecto a este tema, recuerdo la impresión que me produjo mi primera visita a los museos griegos. Las estatuas más antiguas, de grandes dimensiones y aspecto primitivo, aparecían rígidas, en posición vertical, con ambos pies juntos, colocados a un mismo nivel tanto en el plano vertical como en el horizontal. Luego puede apreciarse el desarrollo perceptivo expresado por el artista con el transcurso

del tiempo, al introducir la postura con un pie delante del otro. De ese modo, se agrega una nueva dimensión y, la noción de futuro, queda implícita en ese paso adelante.

Ese proceso difiere, fundamentalmente, de la proposición kantiana que sugiere la introducción de un "*a priori sintético*" inherente a la naturaleza humana y del cual dependería la percepción del tiempo y del espacio. Kant concibe esa condición como innata e instintiva, mientras relaciona la percepción espacial con la geometría y la secuencia del tiempo con la aritmética. Estos conceptos fueron introducidos para refutar el escepticismo empírico de Hume. Pero si la base científica de Kant en lo que concierne a la física y la astronomía de su época es innegable, no puede decirse lo mismo acerca de sus conocimientos en biología.

La electrodinámica cuántica y las nuevas aportaciones acerca de los patrones *etológicos* y *epigenéticos* que rigen la actividad fisiológica de la neurona, descartan el pretendido *a priori kantiano*. Los mecanismos que permiten al niño adquirir nuestra privilegiada noción espacio-temporal, han sido recientemente esclarecidos.

La idea de Henry Bergson de que la noción de pasado, presente y futuro es el resultado de nuestra incapacidad de captar todo a la vez, es absolutamente inadmisibles porque el intelecto del hombre, además de percibir ese continuo espacio-tiempo de Minkowski y expresarlo en lenguaje matemático, ha introducido en el universo su propia orientación témporo-espacial. Es obvio, además, que una de las conquistas más recientes que nos muestra el Evolucionismo no puede considerarse un signo de incapacidad.

Para Einstein, nuestra percepción témporo-espacial no era más que una ilusión de nuestros sentidos; pretendía que la única realidad era la del continuo espacio-tiempo del mundo físico, puesta en evidencia por su mente prodigiosa. De ese modo se creó una antinomia profundamente perturbadora pues, por una parte, sería tonto y desaprensivo contradecir a la teoría de la relatividad tantas veces confirmada, y por otra, negar la realidad de nuestro pasado, nuestro presente y nuestro futuro, equivaldría a negar la realidad de nuestra propia existencia.

A mi juicio, es posible lograr una actitud conciliatoria si aceptamos dos realidades a la vez. Una que corresponde al mundo físico prebiótico y otra resultante de los pasos señalados por el Evolucionismo hasta alcanzar las características que posee el cerebro del *Homo sapiens*. Esa es la realidad del Biocosmos. Una realidad diferente, pero que no es antagónica a la realidad del mundo puramente físico. Cada verdad existe por derecho propio, está regida por parámetros distintos y no tiene que excluir a la otra.

#### EL UNIVERSO SE OBSERVA A SI MISMO MEDIANTE EL HOMBRE.

El mundo prebiótico no desaparece con la llegada del hombre; sólo es transformado por el hombre y para el hombre. Si desapareciera el hombre ese mundo tendría añadida, todavía, la presencia de la vida; pero la falta de un observador consciente eliminaría la concepción del universo introducida por el *Homo sapiens* y desaparecería, entonces, la realidad actual del Biocosmos.

La aceptación de dos realidades diferentes en la representación de un mismo objeto, resulta casi imposible de admitir en el marco de nuestras vivencias diarias y de nuestra manera habitual de pensar. Es difícil entender que un mismo objeto pueda ser dos cosas a la vez.

Pero esa condición es común y corriente dentro de las concepciones de la física moderna. La dualidad onda-partícula con que se ha explicado la naturaleza de la luz y que impusiera el mismo Einstein al describir el fenómeno fotoeléctrico, es una dualidad ampliamente demostrada y es extensiva a los objetos del mundo macroscópico, aunque la pequeñez de la constante de Planck no nos permita observarla. Las consecuencias de los postulados más importantes de la mecánica cuántica, son ineludibles en el análisis de este tema. El Principio de Incertidumbre de Heisenberg establece la imposibilidad de observar objetivamente un fenómeno cualquiera, porque la presencia del observador influye en los resultados obtenidos y éste se hace parte del fenómeno observado. Como complemento, el aforismo de Wheeler mantiene que *"un fenómeno elemental no es un fenómeno real si no es un fenómeno observado."*

Lo que percibimos como realidad física es la imagen proyectada por nuestro cerebro después de elaborar los estímulos recibidos e involucrarse en el hecho. Por otra parte, si queremos estudiarnos a nosotros mismos creamos la doble condición sujeto-objeto, con limitaciones insalvables. Debo reiterar que nuestro universo es una creación de nuestro cerebro y constituye el más preciado obsequio de Prometeo, pues sin los favores que él nos otorgara no tendríamos la maravillosa concepción de todo cuanto existe.

Además, por ser ese universo hijo de nuestro intelecto, no debe sorprendernos que sepamos de él mucho más que de nosotros mismos. Esa afirmación se hace evidente con sólo formularnos las siguientes preguntas:

¿Qué es la vida?

¿Cómo se originó la vida?

¿Qué es la mente?

¿Es el hombre realmente cuerpo y alma como predicaba Platón?

¿Qué son la inteligencia, el sentimiento, la intuición y la conciencia?

¿Por qué tiende el Evolucionismo al desarrollo progresivo de esas manifestaciones en el ser vivo hasta alcanzar las facultades adquiridas por el *Homo sapiens*?

¿Podrá el cerebro un día entender al cerebro?

¿Conducirá la continuación de ese proceso a la aparición de un *Homo sapientísimo*?

¡Cuántas respuestas diferentes han pasado por la mente del hombre ante esas interrogantes sempiternas!

Las civilizaciones más antiguas, los griegos, los pensadores del medioevo y los investigadores de nuestro siglo han querido aclarar esos misterios, pero es muy probable que nunca sepamos toda la verdad.

La curiosidad ha impulsado al ser humano a buscar explicaciones acerca de los objetos y los fenómenos que observa. Movido, a veces, por sus temores y sus frustraciones, ha recurrido a lo metafísico para encubrir su ignorancia acerca del mundo físico.



Ha inventado los dioses, los demonios, los espíritus, el politeísmo, el monoteísmo y otros ismos más. Han surgido, entonces, las ya mencionadas situaciones de incompatibilidad y de marcado antagonismo entre la religión y la ciencia. Sin embargo, como se ha dicho, reiteradamente, muchos de los más brillantes científicos de hoy afirman que el progreso alcanzado teóricamente y experimentalmente en este siglo nos induce a pensar en la necesidad de Dios. Vemos, así, a Edward O. Wilson, proponer que el sentimiento religioso tiene raíces genéticas y que, por tanto, puede ser incluido en el Evolucionismo. Eso no nos impide aceptar, desde luego, que una labor científica seria pueda limitarse a la búsqueda de la verdad con sentido puramente materialista, sin incluir a Dios. Pero, en cambio, las discusiones carentes de base científica y ajenas a las normas y disciplinas académicas, no caben en este volumen. Aquí no hay lugar para la cienciaficción, la pseudociencia, la parasicología, ni la reencarnación.

En épocas pretéritas, los frenólogos pretendían ubicar la Inteligencia y otras facultades del hombre en determinadas regiones del cerebro. Hoy sabemos que esa actitud es tan baladí, como la idea cartesiana de ubicar el alma en la glándula pineal.

*La inteligencia no es una entidad localizable sino el resultado de un extenso y muy complicado proceso.*

Eso no niega que diferentes funciones puedan relacionarse con determinadas regiones del cerebro mediante rigurosas pruebas experimentales.

La adquisición de conocimientos acerca del cerebro, tanto en lo estructural como en lo fisiológico y lo patofisiológico, ha requerido esfuerzos extraordinarios. Si se comparan los frutos obtenidos con el largo camino que falta por recorrer y si pretendemos hallar respuestas a las preguntas hechas anteriormente, el efecto podría ser verdaderamente desalentador.

En cambio, es más fácil y estimulante ver de qué manera han evolucionado los modelos elaborados por los científicos para representar su universo con novedosas y bellas metáforas. Es generalizada la creencia de que los objetos que estudia la física son complicados, pero la verdad es otra. El lenguaje matemático necesario en la exposición de la física es difícil, pero los objetos que estudia esta ciencia son sencillos, sobre todo, si se comparan con las situaciones complejas y caóticas relacionadas con la biología.

Por eso no debe sorprendernos que al estudiar el mundo físico se haya progresado mucho más que al pretender descifrar los misterios de la vida.

El hombre concibió, tempranamente, un universo en el cual la Tierra estaba colocada encima de una tortuga (¡Triste destino el del pobre quelonio con tantas culpas a cuestas!).

Luego, Ptolomeo, estableció su sistema geocéntrico que pretendía explicar mediante las supuestas "esferas celestes" el comportamiento de los astros en el firmamento. Para los griegos la esfera representaba la perfección geométrica y, por tanto, debía regir la configuración de los cuerpos y de los acontecimientos celestiales.

A esto se agregó la ubicación de la tierra en una posición central privilegiada, como un trono mítico, desde el cual reinaba el hombre a "imagen y semejanza de Dios."

Estos conceptos eran parte fundamental de la filosofía y de la religión; atentar contra la estabilidad de esos cimientos sacrosantos era blasfemia. Además, no puede olvidarse que, según nuestras percepciones sensoriales, el Sol se mueve cada día desde el Oriente hasta el Poniente, mientras la tierra permanece, aparentemente, inmóvil bajo las plantas de nuestros pies.

Estaban tan arraigadas estas ideas en la mente del hombre y era tan avasalladora la actitud de la Iglesia que, Copérnico, por miedo a las represalias, decidió esperar las horas cercanas a su muerte para publicar su sistema heliocéntrico.

### GIORDANO BRUNO, UN GENIO MARTIR.

Su verdadero nombre era Filippo Bruno. Luego, por haber nacido en la ciudad de Nola, cerca de Nápoles, en el año 1548, le llamaron "el Nolano." Matemático, astrónomo y filósofo de proyecciones excepcionales, fue brillante defensor del sistema heliocéntrico con un sentido mucho más amplio que el del mismo Copérnico. Mantenía que el universo era infinito y que contenía una gran multiplicidad de mundos. Era atomista, con una orientación neoplatonista y abiertamente opuesto a las enseñanzas de Aristóteles. Su pensamiento coincidía con la noción del "Uno, eterno e inmutable" de la escuela eleática. Aunque no es muy conocido por el gran público, hoy, se le distingue como uno de los más grandes precursores de la actual civilización occidental y de la nueva concepción del universo.

Sus ideas éticas se adelantaron a las que expusieron después los modernos humanistas. Proclamó la necesidad de la tolerancia religiosa y de la libertad de expresión del pensamiento y su vida está llena de vicisitudes provocadas por su maravilloso intelecto unido a un espíritu impetuoso y rebelde. Según las variaciones del ambiente político y el grado de intolerancia religiosa del lugar en que se encontrara, aparece como profesor de varias universidades en Francia, Alemania e Inglaterra, como figura solicitada por la realeza para su orientación intelectual o como fugitivo. Fue sacerdote católico y, en un momento dado, combatió duramente a la iglesia; se hizo calvinista hasta convencerse de que en ese ambiente protestante la intolerancia era igual o peor a la que imponía la Santa Inquisición.

Aunque perseguido también por los luteranos, no logró nunca la total reconciliación con la iglesia católica. Pudo, en una ocasión, refugiarse en un convento Carmelita donde continuó sus prédicas ajenas a los requerimientos eclesiásticos. Eso motivó que el superior de la Orden lo describiera como una persona "totalmente carente de religiosidad y empeñada en perseguir quiméricas innovaciones intelectuales".

Inevitablemente, una personalidad tan conflictiva en ambientes cargados de prejuicios, intolerancia y violencia estaba destinado a un final trágico.

Después de muchas persecuciones y fugas espectaculares, fue denunciado por Mocenigo, un discípulo en cuya casa se hospedaba.

No se sabe si la causa de esa inicua actitud fue la inconformidad con las lecciones que recibía o si lo hizo por los celos, ante la posibilidad de que el maestro lo abandonara para regresar a Alemania. Apresado en Venecia en mayo del 1592 y requerido por la Santa Inquisición de Roma, fue trasladado a esta ciudad el 27 de enero del 1593 y mantenido prisionero en el palacio de los Santos Oficios durante siete años. Sometido a un largo juicio donde se le exigía que se retractara de sus expresiones, mantuvo una actitud digna de su carácter y concluyó su defensa con la siguiente frase: "No tengo nada de qué retractarme y aún no sé de qué quieren que me retracte"

Cuando el tribunal dio su veredicto, les contestó: "Quizás sea más grande el miedo de ustedes al dictar esta sentencia, que el mío al recibirla". Murió en la hoguera, con la lengua amordazada, el 17 de febrero del 1600.

En la misma época, Galileo, amparado por un merecido prestigio y por sus relaciones personales, con más habilidad para conducirse en los ambientes de intriga cortesana, se atrevió también a defender las ideas de Copérnico. Como es sabido fue, a su vez, perseguido por cometer tan "monstruosa irreverencia" aunque no tuvo un castigo tan severo. Sin embargo, la historia nos ha enseñado que el terror y la fuerza no pueden detener el avance de la ciencia. Eventualmente, Kepler demostró que las órbitas de los planetas eran elípticas y no circulares. Hoy sabemos que el Sol es una estrella común y corriente, cuya característica más importante es su estabilidad y que lejos de tener una privilegiada posición central está situado en un pequeño saliente de la Vía Láctea. Mientras ésta representa, una galaxia más, perteneciente a una pequeña "familia local" entre millones y millones de ellas, diseminadas en la vasta extensión del universo.

#### ES MAS LO QUE NO SE VE QUE LO VISIBLE.

Los sorprendentes avances tecnológicos derivados de la ciencia moderna han ampliado considerablemente la capacidad de nuestros órganos sensoriales y han permitido la adquisición de importantes y, a veces, inesperados conocimientos.

Aunque en la década del 1930, Fritz Zwicky, un astrofísico renombrado por haber sido el primero en explicar el origen de las estrellas de neutrones (*pulsars*) como residuos de la explosión de las supernovas, había postulado, ya, la existencia de una "*Materia Oscura*", debido a la conducta gravitatoria de las lejanas galaxias ob-

servadas en el conglomerado de Coma Berenice. Entonces, sus ideas fueron consideradas desacertadas, pero las recientes observaciones de Vera Rubin -y otras similares- acerca de las velocidades de rotación de las galaxias, han aportado datos que hacen necesaria la existencia de una gran cantidad de la masa predicha por Zwicky.

Según esos estudios, la materia visible en el universo representa solamente la punta del iceberg, con lo cual se ha introducido un tema de innegable actualidad cosmológica. Se han propuesto diferentes entidades físicas para explicar la naturaleza de esta nueva modalidad de materia, pero hasta ahora no pasan de ser conjeturas, frente a una novedosa y extraña situación.

Según su manera de pensar, algunos se agrupan bajo la acronimia WYSIWYG (What You See Is What You Get.) que puede traducirse: "Lo que Ud. ve es lo que Ud. obtiene." Para estos, la materia oscura está formada por partículas ordinarias condensadas en cuerpos masivos, mayores que Júpiter, pero sin llegar a convertirse en estrellas. Se denominan "MACHOS" (Massive Compact Halo Objects), equivalente a Objetos Masivos Compactos del Halo. En septiembre de 1993, Kim Griest y un grupo de la Universidad de Berkeley, reportaron uno de esos objetos, a la vez que en Francia, se anunciaba un hallazgo similar.

Pero aunque se haya demostrado la existencia de esos cuerpos, es difícil explicar, con ellos, todo lo concerniente a la materia oscura, pues se considera que hay un límite absoluto para la existencia de materia común en el universo.

Otros candidatos postulados son los neutrinos que existen en grandes cantidades y a los cuales se les quiere atribuir hoy alguna masa aunque ésta no ha sido determinada con certeza.

Pero entre otras cosas los modelos del universo simulados en programas de computadoras con abundante cantidad de neutrinos, resultan muy diferentes del universo que conocemos y, sobre todo, la formación de las galaxias ocurriría muy tardíamente en comparación con la edad que poseen.

Un grupo de creciente importancia, considera que la materia oscura está formada por substancias desconocidas y para continuar con las siglas las han denominado: WIMPS (Weakly Interacting Massive Particles) que se traduciría como "Partículas Masivas Debilmente Interactivas." Con innegable mordacidad alguien ha comentado que "Lo único incierto acerca de los WIMPS, es su existencia."

Antes de surgir el problema de la materia oscura se había propuesto una partícula denominada *axion* y por las características que se le atribuían, ha sido actualizada entre los candidatos. Representa una forma de materia fría y oscura no sólo con respecto a la temperatura baja sino a su movimiento lento en oposición a la velocidad de los neutrinos, aunque comparte con estos, su poca tendencia a la interacción. Otros han propuesto una mezcla de wimps, axions y neutrinos, pero esto equivale, según los más ortodoxos, a un adefesio teórico. Se ha propuesto, también, que los wimps podrían estar constituidos por substancias extrañas a la interacción electromagnética y que, por tanto, no emiten luz.



Al ser la vida una consecuencia directa del electromagnetismo, es fácil entender que nuestros órganos sensoriales dependan fundamentalmente de esa interacción. La partícula cuántica responsable de los cambios bioquímicos que mantienen la vida, es el electrón. A su vez, los ojos reaccionan con exquisita sensibilidad al contacto con la luz, que es parte del espectro electro-magnético, y nuestro sistema nervioso reacciona ante las manifestaciones del electromagnetismo que perciben los órganos sensoriales. Sin embargo, las ondas de radio, cuyas frecuencias son más bajas que las visibles, requieren para su percepción, la ayuda de instrumentos creados por el hombre.

Aunque las interacciones nucleares no están directamente relacionadas con los procesos vitales, el hombre ha podido deducir importantes conocimientos y demostrar experimentalmente muchas de sus manifestaciones. Por ejemplo, no tenemos percepción sensorial de la radioactividad, sino que sufrimos las consecuencias de sus efectos nocivos. Esa radioactividad es una manifestación de la interacción nuclear débil e implica la conversión de un protón en un neutrón, o viceversa, por la sustitución de un quark por otro.

Al mismo tiempo, tenemos capacidad para percibir la fuerza de gravedad, que siendo la más débil, se convierte en la más determinante, cuando hay suficiente acumulación de masa.

La forma, el tamaño, el color, la consistencia, el olor, el sabor, etc. de los objetos que nos rodean, corresponden a las imágenes que proyecta el cerebro después de elaborar los estímulos electromagnéticos que perciben los órganos sensoriales.

En cambio, las características de un universo donde predominara esa materia oscura, ajena al electromagnetismo, sólo podríamos deducirlas por procesos intelectivos y no directamente por nuestras percepciones sensoriales.

Ahora bien, ¿es concebible un universo con objetos sensorialmente imperceptibles para el hombre?

La respuesta es, obviamente, positiva; pero en ese caso, no sería nuestro universo y no podemos saber si podría existir otro observador con características sensoriales diferentes a las del hombre ni de qué manera apreciaría esos objetos que no son perceptibles por nuestros órganos, condicionados por la interacción electromagnética. Con un razonamiento similar podemos deducir que ese ente imaginario no podría ver brillar el Sol, las estrellas ni la Luna, pero la existencia de esos objetos podría ser detectable mediante la observación de los fenómenos gravitatorios relacionados con sus masas. Desde luego, esa más que improbable observación requeriría, por lo menos, un intelecto tan avanzado como el nuestro aunque orientado en otra tortuosa dirección. Sin salirnos de lo puramente biológico, podríamos hacer la siguiente pregunta: ¿Cómo podría una hormiga apreciar nuestro universo con sus limitaciones perceptivas? Es instructivo el relato de un soldado que oculto en una trinchera soportaba intensos bombardeos mientras, a sus pies, una columna de hormigas se movía ordenadamente, en obediencia al mandato contenido en su programación genética, sin enterarse de los proyectiles que estallaban por todas partes.

Esos acontecimientos estaban fuera del universo perceptible para el laborioso himenóptero. Es evidente, que nuestra realidad cósmica está íntimamente unida a la actividad de nuestro intelecto y es necesario insistir en la transformación que sufrió el universo desde el momento en que surgió la vida. En ese instante emergió un nuevo cosmos, con características diferentes a las del mundo puramente físico. Una entidad de donde surge una nueva noción de realidad, la realidad del Biocosmos, creada por el cerebro del *Homo sapiens*. Se entiende que existe un *horizonte* entre nuestra percepción fenomenológica y la *realidad potencial* de la naturaleza.

Desde un punto de vista puramente físico, la vida es el producto de una tendencia evolutiva inherente al electromagnetismo y condicionada por las variaciones del entorno.

Como ya se dijo y se verá más adelante, este concepto es compatible con la *teoría de la auto-organización en los procesos de adaptación de los sistemas complejos*.

## REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

Akhundov, Murad . Conceptions of Space and Time.  
The MIT Press. 1986.

Asimow, Isaac. Extraterrestrial Civilizations.  
Crown Publisher. 1979

Barrow, John D. and Tipler, Frank J. The Anthropic Cosmo-  
logical Principle. Oxford University Press. 1986.

Cohen-Tannoudji, Gilles. Universal Constants in Physics.  
McGraw Hill, Inc. 1993.

Davies, Paul. The Cosmic Blueprint.  
Simon & Schuster. 1988.

Davies, Paul. The Mind of God.  
Simon & Schuster. 1992

Davies, Paul and John Gribbin, The Matter Myth.  
Simon and Schuster. 1992.

Gamow, George. The Creation of the Universe.  
Mentor Book. 1957.

Glashow, Sheldon L. and Ben Boya. Interactions.  
Warner. 1988.

Gleick, James. Chaos. Viking. 1987.

Gribbin, John. In Search of the Big Bang.  
Bantam Book. 1986.

Gribbin, John and Rees, Martin. Cosmic Coincidences  
(Dark Matter, Mankind and Anthropic Cosmology).  
Bantam Book. 1989

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

Iñiguez, Pablo. Dialéctica del Biocosmos.  
Editora Corripio. 1986

Iñiguez, Pablo. Quests.  
Amigo del Hógar. 1988

Lederman, Leon and Schramm, David. From Quarks to Cosmos.  
Scientific American Library. 1989.

Mayr, Ernst. Toward a New Philosophy of Biology.  
Harvard University Press. 1988.

Mitchell, Waldrop M. Complexity.  
Simon & Schuster. 1992.

Prigogine, Ilya. El Nacimiento del Tiempo.  
Tusquet Editores, Barcelona 1993.

Sagan, Carl. Cosmos.  
Random House. 1980.

Sagan, Carl. Intelligent Life in the Universe.  
Holden-Day. 1966.

Scientific American. Oct. 1992

Trefil, James S. The Moment of Creation.  
MacMillan Publising Company. 1983.

Tucker, Wallace and Karen. The Dark Matter.  
Morrow. 1988.

## LAS ENZIMAS

No parece aventurado afirmar que las enzimas representan un factor decisivo para que emergiera el Biocosmos como una entidad diferenciable del mundo físico prebiótico.

Ya se dijo, con respecto al origen de la vida, que John Holland y Stuart A. Kauffman, han postulado con innegable brillantez la participación de moléculas proteínicas relativamente sencillas y poseedoras de actividad catalítica, capaces de inducir las primeras copias y la reproducción protobiótica antes de la aparición del ácido deoxiribonucleico (ADN).

Esas proteínas representarían las formas primitivas de las actuales enzimas cuyas principales características serán presentadas en este capítulo.

El término "enzima" viene del griego *zyme*, (fermento o levadura) y corresponde a una sustancia orgánica, producto de la actividad de organismos vivos (micro-organismos, plantas o animales) que tiene capacidad para modificar la velocidad de una reacción química, sin ser usada en la misma y sin aparecer como uno de los productos de dicha reacción.

Casi todas las enzimas son termolábiles y muchas reacciones bioquímicas no sólo son aceleradas, sino que no podrían tener lu-

gar o, por lo menos, no alcanzarían un nivel apreciable sin la presencia de una enzima. Según sus funciones, las enzimas se dividen en: óxido-reductasas, transferasas, hidrolasas, liasas, isomerasas y ligasas. Otra clasificación las divide en enzimas de adaptación, de ramificación, alostéricas (que admiten cambios estructurales fuera de su *región activa*), etc. Aunque por definición las enzimas son producidas por la actividad de células vivas, pueden también ejercer su acción de manera independiente, aun separadas de dichas células. Hasta el 1980, todas las enzimas aisladas eran proteínas; pero ese año, Altman y Cech, descubrieron las *ribozimas*, por lo cual recibieron el Premio Nobel en 1988. De hecho, las enzimas son las más importantes y numerosas de las proteínas. Se conocen millares de enzimas y cada una cataliza una reacción química diferente. Su poder es muchas veces superior al de los catalizadores hechos por el hombre y poseen una alta especificidad en sus funciones. Hay enzimas que requieren la presencia de sustancias activadoras, denominadas coenzimas, para alcanzar niveles óptimos en su actividad bioquímica.

Algunas de las vitaminas constituyen excelentes ejemplos de esas coenzimas.

Un aspecto particularmente notable en la actividad enzimática es el contraste entre la estabilidad del contenido energético del sistema y la enorme aceleración del ritmo de la reacción química estimulada por la enzima.

Los niveles de aceleración alcanzados por la participación de la enzima, alcanzan con frecuencia, valores de  $10^8$ ,  $10^{20}$  y aun más elevados, en algunos casos.

La hidrólisis de la urea, por ejemplo, sin la presencia de ureasa, se produce a un ritmo de  $3 \times 10^{-10} \text{ S}^{-1}$  si se mantiene un pH de 8.0 y una temperatura de  $20^\circ\text{C}$ , pero en presencia de la ureasa alcanza niveles de  $3 \times 10^4$  en las mismas condiciones. Esto representa un aumento de  $10^{14}$  (cien millones de millones). Otra característica fundamental de la enzima es la de controlar, paso a paso, las reacciones químicas en que participa y con eso se amplía, notablemente, la utilización del material metabolizado. Existe una gran diferencia entre la simple combustión y la combustión biológica con participación de la enzima. Al encender un trozo de caña de azúcar, la oxidación de los hidratos de carbono produce llamas por la energía desprendida; en cambio, cuando ingerimos esa misma sacarosa, la metabolización del azúcar en el interior de la célula se produce en pasos sucesivos controlados por la actividad enzimática. Unas cuantas moléculas son desmembradas para aprovechar la energía liberada, pero otras sólo son parcialmente fraccionadas. Algunos de los fragmentos resultantes son recombinados para crear una nueva familia de moléculas más pequeñas que poseen otras utilidades y, frecuentemente, se les añaden átomos de nitrógeno y de azufre, tomados del amonio o de los sulfatos del medio



circundante. De ese modo se forman aminoácidos, lípidos y nucleótidos. En un segundo ciclo de síntesis esas nuevas entidades sirven de eslabones para formar las macromoléculas características del contenido protoplásmico, encargado, básicamente, de la fisiología celular.

Desde los seres unicelulares hasta el *Homo sapiens* la enzima es responsable de la nutrición, del contenido molecular de la célula, de cada etapa en el desarrollo del organismo, de su especialización morfológica y fisiológica, de su interacción con el ambiente exterior y de todo cuanto resulte de los innumerables cambios bioquímicos. Finalmente, la fisiología celular se transmite porque *cada enzima corresponde a un gene*.

Los siguientes ejemplos son demostrativos. La digestión es, simplemente, la hidrólisis enzimática de los alimentos realizada por la acción sinérgica de múltiples enzimas. La utilización de los alimentos metabolizados conduce a la proteínogenesis que, básicamente, tiene lugar en el interior del hepatocito (célula hepática). Así, se formarán las enzimas que regirán las múltiples funciones que realiza el hígado. Si alguna noxa ataca las estructuras formadas por las enzimas, éstas se encargan, además, de reparar el daño causado. La lesión de un vaso sanguíneo, por ejemplo, desencadena el mecanismo de coagulación para corregir las alteraciones estructurales. En ese proceso intervienen, aproximadamente, una docena de enzimas diferentes.

El funcionamiento del sistema nervioso, que permite percibir e interpretar las condiciones ambientales para modificar la actitud del individuo frente al entorno, está controlado por la coordinación de diferentes conjuntos enzimáticos. La base del funcionamiento de la neurona radica en la actividad de las enzimas localizadas en su membrana celular. Esas enzimas generan y controlan las diferencias de potenciales entre las cargas eléctricas existentes en el interior de la célula y las que hay en el ambiente que la rodean.

Algunas enzimas ubicadas en el interior de la neurona promueven la salida acelerada de cationes de sodio y permiten, así, elevar la carga eléctrica positiva en el espacio intercelular. Consecuentemente el interior de la célula adquiere una carga negativa al prevalecer los aniones sobre los cationes. Esa diferencia de carga a cada lado de la membrana, condiciona a la neurona para realizar su función, y la permeabilidad de la membrana a los diferentes iones es controlada, según las necesidades, por las enzimas correspondientes. Cuando se requiere establecer el equilibrio entre el interior de la célula y los espacios extracelulares, se cierra el paso a los cationes de sodio hasta producir la "depolarización." Si los estímulos externos lo reclaman, se aumenta la permeabilidad al sodio y se crea, nuevamente la diferencia de cargas. Cuando una neurona es estimulada (sea por otra neurona en el cerebro o por un órgano sensorial) la permeabilidad de la membrana cambia. En un momento dado, se estimula el paso de sodio que entra rápida-

mente en el axon y se produce una onda de cambios electroquímicos que se propaga hasta el final de esta prolongación eferente. Al alcanzar las vesículas ubicadas en las terminaciones, éstas descargan su contenido en forma de *neurotransmisores* que son moléculas portadoras de señales químicas.

En las "dendritas" de las células adyacentes se hallan los receptores específicos de esos neurotransmisores, con lo cual se produce el mecanismo de "sinapsis" sin que exista contacto directo entre neurona y neurona. Cuando se han obtenido las respuestas a las señales recibidas y se hace necesario interrumpir la recepción para que la célula retorne a su estado original, la orden es dada por las enzimas encargadas de esa función.

Ante la enorme importancia de la enzima, es obligatorio preguntarse: ¿Desde cuándo se tiene noción de su existencia y hasta dónde llegan nuestros actuales conocimientos acerca de esas maravillosas moléculas?

Desde hace cerca de 10,000 años el hombre ha conocido la transformación de la uva en vino. La presencia de la "levadura" no pasó desapercibida, pero no fue relacionada con el proceso que fue simplemente atribuido al "envejecimiento de la uva".

Esculturas egipcias de la V dinastía (2,400 antes de J.C.) muestran, en altos relieves, la obtención de cerveza mediante la fermentación de granos.

Aristóteles atribuía el origen de ese fenómeno que hoy llamamos "fermentación" a una *vis viva*, o fuerza vital, de donde surgió el *vitalismo* relacionado con la teleología aristotélica.

Se ha necesitado el transcurso de milenios para cambiar la idea de la *vis viva* por el concepto de la enzima.

Lavoisier, "Padre de la Química Moderna," cuya semblanza aparecerá en un capítulo ulterior de esta obra, estableció que "la fermentación era una reacción química en la cual el azúcar del jugo de uvas era convertido en el etanol (alcohol etílico), que le daba al vino sus principales características.

Esa fue una de las primeras ecuaciones químicas en que los términos representaban productos de organismos vivos y que permitía confirmar la ley de la conservación de las masas. En esos momentos, el hecho sirvió de base para unificar la química mineral con la química orgánica.

*Sin embargo, hasta entonces, el papel que la levadura podía desempeñar fue menospreciado debido a que dos de sus características fundamentales fueron interpretadas negativamente: Una, su presencia en cantidades exiguas y, la otra, su inalterabilidad durante el proceso.*

La primera explicación del papel de la levadura, digna de ser mencionada, la introdujo el eminente químico alemán, Justus von Liebig (1803-1873). Sin duda, es interesante comparar sus expresiones con algunos criterios actuales.

He aquí una traducción libre, pero fiel a su contenido:

"Los átomos de un cuerpo en putrefacción (el fermento), están en movimiento incesante, cambian sus posiciones y forman nuevas combinaciones. Esos átomos en movimiento están en contacto con los átomos del azúcar, los cuales están solamente unidos por fuerzas débiles. El movimiento de los átomos del fermento afecta, necesariamente, a los átomos del azúcar que están mezclados con ellos.

Existen las alternativas de que sus movimientos sean abolidos o de que los otros átomos se muevan. Si los átomos del azúcar sufren un desplazamiento, tienden a reorganizarse de tal manera que producen el alcohol y el anhídrido carbónico."

La idea general de una transferencia de energía desde el fermento en descomposición hacia las moléculas de azúcar parecía intuitivamente razonable y tuvo gran aceptación en su época. Como siempre, influyó mucho la personalidad y la fama de Liebig, quien había convertido la Universidad de Giessen en uno de los centros de estudios químicos más importantes del mundo. Uno de sus estímulos para lograr ese objetivo fue su frustración por no haber tenido acceso a ningún aparato o equipo científico durante su vida de estudiante. Eso lo indujo a crear los primeros laboratorios químicos para los estudiantes universitarios.

Simultáneamente, Theodor Schwann (1810-1882) y Charles Cagniard Latour (1777-1850) reportaban, en Alemania y en Francia, respectivamente, los resultados obtenidos al hacer exámenes microscópicos de muestras en proceso de fermentación.

Ambos concluyeron que el fermento (la levadura) era una sustancia viva y que su crecimiento era la fuerza determinante de la fermentación. Pero no lograron demostrar, experimentalmente, la relación de causa a efecto entre el crecimiento de la levadura y la fermentación.

Los químicos rechazaron la idea y, además, la calificaron como una intromisión de la biología que, en esos momentos, no era reconocida como ciencia debido a la inexactitud de sus postulados. Por añadidura, el hecho de basarse en observaciones instrumentales, aumentaba el recelo colectivo ante los resultados. Los aparatos científicos tenían una dudosa reputación en esa época. Los investigadores más renombrados, incluyendo a Liebig, reaccionaron negativamente y, sólo 25 años después, los trabajos de Louis Pasteur (1822-1895) vinieron a confirmar la naturaleza viva del fermento. Este hijo benemérito de Francia, cuya fama se inicia al salvar la industria vinícola y darle seguridad científica a un renglón tan importante en la economía de su país, se convirtió, además, en benefactor de la humanidad al introducir la noción de la etiología microbiana en muchas enfermedades que, desde entonces, pudieron ser prevenidas y combatidas eficientemente. Pasteur reconoció la metabolización de los nutrientes como parte del proceso vital de los micro-organismos y percibió la fermentación y la aparición de nuevos compuestos químicos como consecuencia de las funciones vitales de las células. Pero aunque pudo demostrar que la

levadura estaba constituida por células vivas, su interpretación de los hechos resultaba profundamente influenciada por el vitalismo y no llegó a visualizar las verdaderas características de la actividad enzimática.

En 1835, Cagniard-Latour y Schwann, con el uso de mejores microscopios, pudieron demostrar la naturaleza celular de la levadura, su capacidad de crecimiento y su reproducción. Para Pasteur estos hallazgos constituían la negación de la teoría de Liebig y eso dió lugar a uno de los debates más apasionados en la historia de la ciencia. Como ha ocurrido en otras ocasiones, ambos contendientes usaban parte de la verdad y, a la vez, ambos tenían nociones erróneas de lo que acontecía. Irónicamente, Liebig fue visto como perdedor aunque su enfoque conducía a la explicación del mecanismo de la fermentación; mientras Pasteur, cuyos planteamientos implicaban una distorsionada actitud vitalista, totalmente insostenible, fue considerado victorioso.

Liebig se vio obligado a reconocer la naturaleza viva de la levadura, pero opinaba que debía producirse una substancia responsable de la reacción química que conducía a la fermentación de las moléculas de azúcar y a la producción de otras substancias. *Insistía en que el papel del proceso fisiológico en la levadura con respecto a la fermentación se limitaba a producir esa substancia.*

Pasteur, en cambio, veía en el proceso fisiológico la representación de la *vis viva aristotélica* que conducía a los cambios y, en

un acto académico, proclamó que Liebig no había rebatido sus ponencias porque no había encontrado argumentos para refutarlas. Pero la verdadera razón del silencio de Liebig había sido otra. No podía defenderse porque ya estaba muerto.

Lamentablemente, en estos episodios encontramos, una vez más, las muestras de flaqueza propias de la naturaleza humana en uno de sus más grandes héroes. Las invectivas de Pasteur al combatir las ideas de Liebig nos obligan a ver las debilidades propias de esa humana naturaleza en un ser excepcional a quien idealizamos y justamente colocamos en olímpicas alturas.

Pero esos errores no pueden empañar el brillo de su obra; simplemente nos confirman la imperfección del ser humano.

Entre tanto, nuevos descubrimientos desplazaban a las ideas vitalistas del panorama científico.

En 1833, Anselme Payen y Jean François Persoz, demostraron la existencia de un fermento de gran actividad que transformaba el almidón de la malta en azúcar sin la participación de un elemento vivo. Esa fue la "*diastasa*" (en griego: hacer romper).

En 1836, Schwann descubrió la pepsina, pero ni él ni Payen generalizaron el significado de sus trabajos. Ese mérito se le ha acreditado a Moritz Traube (1826-1894) quien postuló la existencia, en el interior de la célula, de sustancias similares a los fermentos ya conocidos. Este fue el primer pronunciamiento verdaderamente precursor del concepto de las enzimas.



En 1860, Marcelin Pierre Eugene Berthelot (1827-1907), logró extraer de la levadura viva un fermento que divide a la sacarosa en glucosa y fructuosa. Lo llamó *invertasa*. Pasteur, aunque obligado a reconocer el mérito de este compatriota, mantuvo la opinión de que "la fermentación era esencialmente un fenómeno correlativo con un acto vital, que comenzaba y terminaba con el crecimiento y la vida de la célula."

Es interesante señalar que en 1835, Jöns Jacob Berzelius (1779-1848), destacado químico sueco, había publicado un trabajo, que inicialmente pasó desapercibido, pero que fue reproducido en 1837 y llegó a conocimiento tanto de Liebig como de Pasteur sin que ninguno de los dos le concediera la importancia debida.

En ese trabajo, Berzelius reporta la existencia de "una fuerza que se refleja en la capacidad que tienen algunas substancias de despertar con su sola presencia, y no por su propia reactividad, afinidades dormidas en algunas moléculas". A esa fuerza, Berzelius le dio el nombre de "*catalysis*". En un momento dice: "Encuentro sólidas razones para considerar que en los tejidos y líquidos de plantas y de animales vivos, ocurren millares de procesos catalíticos que generan una multitud de substancias con diferentes composiciones químicas... En el futuro se descubrirán quizás esos procesos debidos a substancias catalíticas presentes en los tejidos y órganos que componen el ser vivo".

En 1897, Hans Buchner (1850-1902) y su hermano Eduard Buchner (1860-1917), consiguieron la fermentación in vitro de la sacarosa con producción de alcohol, mediante un filtrado obtenido después de triturar células de levadura mezcladas con arena y sometidas a fuertes presiones. El principio activo recibió el nombre de *zymasa*. Hubo actitudes negativas al fracasar algunos intentos de repetir la experiencia de los Buchner, sin embargo, como ironía del destino, la confirmación de sus hallazgos provino del sitio más inesperado, pues fue, Emile Roux, mientras hacía sus investigaciones en el Instituto Pasteur, quien le dio pleno reconocimiento aunque sin dejar de mencionar la procedencia celular del fermento, para no faltar a la memoria del venerado maestro.

A inicios del siglo XX, Franz Hofmeister, anuncia la "Teoría Enzimática de la vida" y predice que el origen enzimático de todas las actividades celulares sería demostrado un día. Pero pese a su enorme importancia, la actividad enzimática nunca ha podido ser explicada satisfactoriamente.

Las investigaciones más recientes nos muestran detalles sorprendentes de cómo ocurre el proceso, pero eso no implica, necesariamente, el conocimiento de su esencia.

No se ha podido explicar el verdadero origen ni los por qué de esta asombrosa interrogante biológica.

#### CORRELACION ENTRE ESTRUCTURA Y MECANISMO DE ACCION.

En 1894, el eminente químico alemán, Emil Fischer, (1852-1919), después de establecer que la estructura molecular constituye una entidad tridimensional, postuló que el substrato fijaba la parte activa de la molécula de la enzima en una correlación similar a la que existe entre "la llave y el candado." De ese modo le dio realismo a la molécula y contribuyó a explicar la especificidad de la reacción enzimática. Hasta entonces, las moléculas representaban entidades prácticamente abstractas y sólo con los trabajos de este eminente químico alemán comenzaron a adquirir las propiedades espaciales que justifican sus diferentes conductas en las reacciones químicas y biológicas. Las moléculas de los carbohidratos y, muy especialmente, de las diferentes hexosas, fueron las primeras en conducir a esas conclusiones. Aunque estos azúcares pueden ser representados por una misma fórmula global ( $C_6H_{12}O_6$ ), sus propiedades bioquímicas varían con la localización espacial de los diferentes átomos y grupos funcionales. La simple representación de una molécula y de otra equivalente a su propia imagen vista en un espejo, encierra notables diferencias en sus respectivas conductas bioquímicas. Esto implica que si un átomo de carbono está unido a un hidrógeno en el lado derecho y un hidroxilo en el izquierdo, su imagen, vista en el espejo, refleja esas posiciones invertidas y eso basta para que las características químicas y biológicas de cada molécula sean diferentes.

Pero son más importantes, todavía, las consecuencias de que una enzima pueda reconocer y aprovechar, específicamente, las diferencias entre ambas moléculas.

El descubrimiento de estos hechos sorprendió profundamente al mismo Fischer como puede apreciarse en los siguientes comentarios que felizmente nos dejara: "Sólo la observación de los hechos podía convencer a alguien de que la estructura geométrica de una molécula (aun en aquellas pareadas al ser reflejadas en el espejo) ejerce tan gran influencia en su reactividad química."

Pero como todavía en esos momentos no se había logrado aislar a las enzimas en estado de pureza, Fischer no pudo demostrar directamente la interacción enzima-substrato.

La demostración de esa conjunción bioquímica fue lograda por el inglés Adrian Brown y el investigador francés Victor Henri. Pero fue muy ardua la tarea para llegar a reconocer las estructuras de la gran variedad de moléculas que se encuentran en el interior de la célula y los cambios conducentes a que las más simples se asocien para formar otras más complejas, como ocurre con la síntesis de lípidos, ácidos nucleicos y proteínas. El primer ataque sistemático para descifrar las estructuras de estas últimas fue realizado por el químico holandés Gerardus Mulder (1802-1880), quien señaló la proporción prácticamente constante entre los átomos de carbono, oxígeno, hidrógeno y nitrógeno en las sustancias "albuminoides" mediante la fórmula  $C_{40} H_{62} N_{10} O_{12}$ .

Observó, además, la asociación frecuente con un átomo de azufre. Mulder reportó: "Al reconocer a los albuminoides como sustancias principales en la nutrición animal, yo propongo ante ustedes la palabra 'proteína' tomada del griego '*proteios*' que significa 'de primera importancia.' Mientras tanto, Liebig, sometido a los fieros ataques de Pasteur, al no poder confirmar los resultados de Mulder, introdujo nuevos temas de discusión cuando declaró enfática y despectivamente que las proteínas no existían. En respuesta, Mulder modificó la fórmula inicial pero dada la enorme complejidad de las moléculas proteínicas y las limitaciones de los métodos de investigación, en esa época, las controversias no cesaban.

La mayoría de los químicos prefirieron excluirlas de su campo de estudio, propusieron tratarlas solamente como porciones de tejidos y dejarlas en manos de los biólogos para no tener que considerarlas como sustancias químicas. Pero, inevitablemente, el afán de conocer la verdad tenía que prevalecer entre los predestinados que no evadieron el desafío.

#### INICIO DE LA DILUCIDACION MOLECULAR DE LAS PROTEINAS.

Nos sorprende, sin embargo, que fuera el propio Liebig quien después de haber negado la existencia de las proteínas, iniciara el proceso que condujo a descifrar su estructura molecular.

Este genio excepcional identificó la *leucina* y la *tirosina* como componentes de la caseína; se determinaron sus fórmulas y, tras

ellas, fueron reconocidas, sucesivamente, una totalidad de veinte moléculas similares que por poseer en su composición un grupo *amino* (-NH<sub>2</sub>) y un *carboxilo* (-COOH) recibieron el nombre de aminoácidos.

Entre el descubrimiento de Liebig y la inclusión, en 1935, de los últimos aminoácidos para completar esa lista de tanta importancia biológica, transcurrieron 75 años.

Fischer y Hofmeister introdujeron la noción de la "*cadena de polipéptidos*" en la cual esas nuevas moléculas constituyeran los eslabones. Así nació la primera teoría racional de la constitución molecular de las proteínas.

Pero las dificultades para establecer por medios químicos sus complicadas fórmulas estructurales parecían insalvables. Sus macromoléculas no podían compararse con las de otros compuestos previamente conocidos y la complejidad de sus estructuras llegaba a ser atemorizante. Basta pensar que una proteína en cuya composición sólo participan cinco aminoácidos, permite 3,200,000 maneras de combinar sus eslabones. Simultáneamente fueron identificados, también en el interior de la célula, carbohidratos, lípidos y ácidos nucleicos. Según se comenta en otro capítulo, Sumner realizó la cristalización de las enzimas y, ulteriormente, Northrop y Kunitz demostraron su naturaleza proteínica con auxilio de la *electroforesis*. Este método consiste en observar la conducta de las moléculas al paso de una corriente eléctrica.

La centrifugación, la cristalografía con difracción de los rayos X, la espectrografía y, más recientemente, la resonancia magnética nuclear (RMN) se cuentan entre los procedimientos físicos cuyo valor informativo ha permitido superar las limitaciones que imponen los métodos químicos. Como ya se ha mencionado, la espectrografía proporcionó importantes conocimientos con respecto a la estructura y al comportamiento de los átomos, y en diferentes ocasiones fue el punto de partida para las geniales concepciones de Niels Bohr. Las propiedades químicas de los elementos fueron relacionadas con los orbitales de sus respectivos electrones externos mediante la espectrografía. Las longitudes de onda específicas para cada elemento o compuesto en la absorción de radiaciones espectrográficas o su emisión al ser calentados (esto es, su coloración y su identificación espectroscópica) dependen de esos orbitales. Se establecieron diferentes denominaciones con letras representativas de los aspectos espectrográficos y así, la "s" viene de "sharp" que significa afilado o agudo; la "d" equivale a "difuso" y la "p" corresponde a principal.

#### ENZIMAS NO PROTEINICAS.

Ya se dijo que la demostración de propiedades auto y heterocatalíticas en moléculas de ácido ribonucleico (ARN), en 1980, despojó a las proteínas de la exclusividad que se les atribuía como única forma estructural de las enzimas.

Un grupo de investigadores de la Universidad de Yale, encabezado por Sidney Altman, y otro de la Universidad de Colorado dirigido por Thomas Cech, demostraron, independientemente, que algunas moléculas de ácidos ribonucleicos escindían otras moléculas mayores de dichos ácidos y producían otras más pequeñas con actividades fisiológicas propias. En unos casos, los nucleótidos ubicados en el extremo de la cadena eran separados de la molécula y, en otros, los eslabones atacados estaban ubicados en el interior de la cadena y luego los extremos dejados libres a cada lado se unían entre sí. Vimos, también, que Altman y Cech, recibieron el Premio Nobel de Química en 1988, por esa labor.

De acuerdo con los criterios vigentes, parecería lógico pensar que la sustancia catalizadora de esos procesos fuera alguna molécula de proteína aunque estuviera presente en cantidades mínimas, pero finalmente, se comprobó que moléculas de ARN sintetizadas en el laboratorio, sin posibilidad de contaminación con proteínas, reproducían los mismos resultados. Las dos primeras enzimas cuyas estructuras químicas eran ARN y otras que se agregaron, posteriormente, recibieron el nombre de *ribozimas*.

Es fácil entender que, en comparación con aquellas que tienen naturaleza proteínica, el número de estas enzimas es muy reducido, pues las cadenas de los ácidos nucleicos constan de sólo cuatro nucleótidos, mientras que las de proteínas cuentan con veinte aminoácidos.



Entre las posibilidades que existen para variar las combinaciones que ofrecen 4 nucleótidos y las que se obtienen si se hace lo mismo con 20 aminoácidos, hay una distancia astronómica.

La *quimotripsina*, cuya cristalización, como ya consta, fue obtenida por Northrop y Kunitz, proporcionó inicialmente, la mayoría de los conocimientos químicos y fisiológicos obtenidos acerca de una enzima.

#### ESTRUCTURA BASICA DE LAS PROTEINAS.

*La disponibilidad de la enzima en estado de pureza hizo posible el análisis estructural de la misma.*

Al disolver en agua esos cristales y añadir una solución concentrada de un ácido, si se mantiene la temperatura elevada, y se usan diferentes tipos de proteínas, al cabo de un tiempo relativamente prolongado, se pueden obtener hasta 20 moléculas de aminoácidos diferentes.

A partir de este hecho, la complicada estructura molecular de las proteínas gira alrededor de un mismo tema. Cada aminoácido consta de un carbono central, (carbono  $\alpha$ ), cuyas cuatro valencias están ocupadas de la siguiente manera:

- 1.- Un grupo amino, (-NH<sub>2</sub>).
- 2.- Un grupo ácido carboxílico (-COOH).
- 3.- Un átomo de hidrógeno (H) y
- 4.- Un grupo variable (generalmente representado por (R)).

En los 20 aminoácidos mencionados, el lugar de ese grupo variable puede ser ocupado por cada uno de ellos en asociación con el carbono alfa que se tomó como punto de partida.

La representación química de esa estructura se hace comúnmente en un solo plano (*proyección de Fischer*), pero cada día se usan más los diferentes modelos tridimensionales.

*La estructura de la enzima y su mecanismo de catálisis se relacionan íntimamente con las propiedades bioquímicas de las cadenas laterales de aminoácidos.*

El aminoácido más sencillo es la *glicina*, cuya cadena lateral consiste solamente en un átomo de hidrógeno.

Esto le da un carácter relativamente neutro y le permite hacer el papel de espaciador flexible en la cadena molecular sin mayor actividad química.

La próxima en simplicidad es la *alanina*, cuya cadena lateral consiste en un grupo metílico (CH<sub>3</sub>). Este es el primero de cinco aminoácidos cuyas cadenas laterales son hidrocarburos. Los otros cuatro son: *la valina, la leucina, la isoleucina y la prolina*.

Desde el punto de vista químico es importante hacer notar las propiedades hidrofóbicas de la cadena lateral integrada por esos cinco aminoácidos, generalmente ubicados en el interior de la molécula, pues dificulta su interacción con las moléculas de agua de la solución en que se encuentran, mientras favorecen las reacciones con las cadenas laterales de otros aminoácidos.

Otros dos aminoácidos, *la serina y la treonina*, contienen, también, hidrocarburos en sus cadenas laterales, pero éstas poseen, además, grupos hidroxilos (OH) que le confieren importantes propiedades a la cadena lateral. En primer lugar, permiten la asociación con un hidrógeno para formar las llamadas *uniones de hidrógeno*, en las cuales un mismo átomo de dicho elemento es compartido por dos átomos con cargas negativas débiles, como suele suceder con el oxígeno y el nitrógeno.

La *fenilalanina, la tirosina y el triptofano* son aminoácidos cuyas cadenas laterales representan anillos planos de hidrocarburos y son también hidrófobos. La orientación plana de sus cadenas laterales permite organizaciones geométricas diferentes a las de otras cadenas laterales. Cuentan, además, con grupos OH y NH que pueden formar uniones de hidrógeno.

Las cadenas laterales de los once aminoácidos mencionados hasta ahora, carecen de carga eléctrica cuando el medio en que se encuentran tiene un pH fisiológico. Otros cinco se caracterizan por tener una carga positiva o negativa en el mismo ambiente. Esas cargas dependen de la adquisición o la pérdida de hidrogeniones ( $H^+$ ) por el grupo  $NH_2$  o por el  $COOH$  de la cadena lateral; les dan propiedades hidrófilas y permiten que se formen *uniones iónicas* por atracción de las cargas opuestas.

La *lisina y la arginina*, en un pH fisiológico, tienen cargas positivas; en ambos casos el grupo nitrogenado  $=NH$  o  $-NH_2$  en la cade-

na lateral de hidrocarburos ha usado sus electrones para unirse a un hidrógeno del agua circundante, con lo cual se convierte en  $=NH_2^+$  o en  $-NH_3^+$

La *histidina* puede adquirir, también, un hidrógeno y cargarse positivamente. Sin embargo, la cadena lateral de este aminoácido se une sólo debilmente a ese hidrógeno, que es tomado o cedido con facilidad en ambiente fisiológico. Esto le da a la histidina propiedades de especial interés en la actividad enzimática.

El *ácido aspártico* y el *ácido glutámico* son aminoácidos cuyas cadenas laterales poseen cargas negativas. Tal como ocurre con el carboxilo (COOH) del carbono central de cada aminoácido, el COOH ubicado al final de la cadena lateral se disocia en un pH fisiológico y produce una carga negativa por pérdida de un hidrógeno.

En sus derivados respectivos, *la asparagina* y *la glutamina*, un grupo amina terminal se une al carboxilo y elimina la carga eléctrica. Consecuentemente, estas moléculas no forman uniones iónicas, pero los grupos N-H y C=O de sus cadenas laterales pueden participar en uniones de hidrógeno.

Finalmente, *la metionina* y *la cisteína* son aminoácidos caracterizados por la presencia de azufre en sus cadenas laterales. La metionina es esencialmente hidrófoba y, a excepción de la actividad del azufre, es poco reactiva. En ese aspecto es comparable a la glicina, la alanina, la valina, la leucina, la isoleucina y la prolina.

La cisteína representa un caso especial en el cual el grupo sulfidrilo (-SH) de la cadena lateral es químicamente reactivo. Como consecuencia, subunidades de cisteína pueden formar, entre ellas, una *unión covalente*.

La unión disulfídica resultante sostiene a los dos aminoácidos juntos al final de la estructura proteínica, lo que constituye un detalle fundamental para mantener la estabilidad de la molécula al replegarse.

Los diferentes aminoácidos tienden a unirse formando una cadena mediante las llamadas *uniones peptídicas* entre el grupo amina de un aminoácido con el carboxilo de otro.

Una cadena polipeptídica puede estar constituida por unidades, decenas, centenas y millares de aminoácidos. La cadena polipeptídica así formada, constituye una estructura lineal no ramificada. En ocasiones entran dos o más cadenas en la composición de una molécula proteínica y se observan entre ellas verdaderos abrazos helicoidales que dan cohesión a la estructura molecular. Las características bioquímicas de la molécula dependerán no sólo del número y del orden en que se dispongan los diferentes aminoácidos en sus respectivas cadenas, sino que influye, también, la configuración espacial que adopte la molécula al plegarse sobre sí misma. El número y la secuencia de los diferentes aminoácidos pueden ser determinados mediante el procedimiento introducido por F. Sanger, en Cambridge, (G.B.) y Pehr Edman, en Australia, a mediados de

la década del 1950. Como se hace constar también en otro capítulo, Sanger recibió por estos trabajos el primero de sus dos Premios Nobel. La configuración tridimensional y la forma de replegarse que muestran las cadenas polipeptídicas comenzaron a conocerse con los trabajos de Linus Pauling y Robert Corey del California Institute of Technology, en 1940. Sus investigaciones se basaron en la cristalografía con difracción de rayos X, para medir las distancias y los ángulos formados por los átomos según sus modelos estructurales de las moléculas proteínicas. En 1951, ellos observaron, que la configuración habitual mostraba la repetición de una estructura helicoidal alfa ( $\alpha$  *helix*) y una hoja beta ( $\beta$  *sheet*).

Pauling recibió el Premio Nobel de Química en 1954 y en el año 1962 le otorgaron el Premio Nobel de la Paz.

Si se piensa en la enorme variedad de las uniones químicas (uniones disulfídicas, iónicas y de hidrógeno) y en las interacciones hidrófobas, parecería lógico que las moléculas proteínicas pudieran replegarse de mil maneras diferentes. Sin embargo, *la cristalografía ha permitido demostrar que las moléculas de una enzima siempre se repliegan bajo un mismo patrón preciso, con lo cual se garantiza la uniformidad de su conducta.* Aunque no se conocen los detalles del mecanismo que produce esos resultados, es obvio, que los hechos no ocurren por un simple sistema de tanteo.

Si cada aminoácido tomara una diezmilmillonésima de segundo al probar cada posición diferente hasta hallar la más conveniente

para la rotación de un determinado grupo molecular, con sólo probar tres orientaciones para cada aminoácido, en el caso de una cadena con 250 sub-unidades, el tiempo requerido sería de  $10^{98}$  años, que sobrepasaría, con mucho, la edad del universo generalmente aceptada entre unos 15 mil y 20 mil millones de años .

Christian Anfinsen (1916- ), Michael Sela y Fred White, del National Institutes of Health, demostraron que la secuencia lineal de aminoácidos en una proteína contiene toda la información necesaria para dirigir el modo de replegarse cada molécula proteínica. Anfinsen compartió el Premio Nobel en 1972.

#### TIPOS DE UNIONES O ENLACES QUIMICOS.

Los diferentes tipos de uniones entre los átomos de la molécula intervienen en la conducta de la misma durante las reacciones químicas. Las *uniones covalentes* se producen cuando los electrones son compartidos entre dos átomos diferentes.

En estos casos los átomos participantes obtienen un juego completo de electrones para llenar su concha exterior. El carbono, por ejemplo, tiene cuatro huecos y requiere formar cuatro ligaduras covalentes para llenarlos. Por eso, es tetravalente.

El nitrógeno, en la constitución de las proteínas, es esencialmente trivalente, aunque en ocasiones puede comportarse como pentavalente; el oxígeno, como divalente; y el hidrógeno, siempre monovalente.

Las uniones covalentes son considerablemente más resistentes que las demás. Para separarlas se requiere apreciable consumo de energía y los ángulos que forman los diferentes átomos que participan en ellas tienden a mantenerse en la misma posición. Esto es así, porque el hecho de compartir los electrones depende de la confluencia de sus órbitas. Circunstancia que sólo ocurre en direcciones específicas.

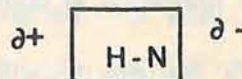
Las *uniones iónicas* representan la interacción electrostática que resulta de la atracción de dos cargas eléctricas diferentes. Son uniones más flexibles que las covalentes; si los átomos que la forman tienden a separarse, dichas uniones, en vez de romperse, sólo se debilitan en proporción al aumento de la distancia. Además, pueden presentar cualquier ángulo, ya que no se requeriría la convergencia de las órbitas de diferentes electrones como ocurre en las uniones covalentes.

Por otra parte, su estabilidad es notablemente afectada por las condiciones del medio en que se encuentran, lo cual explica la diferencia de conducta de estas uniones cuando los átomos que participan en ellas se encuentran en el interior de la molécula o al estar en la superficie, donde prevalece el contacto con el medio acuoso circundante.

Ese factor contribuye a la solubilidad de la molécula e interviene en los mecanismos que la hacen replegarse.



Las uniones de hidrógeno, de especial interés en el DNA y en las proteínas, se forman por la manera desigual en que algunos átomos comparten los electrones al crear una unión covalente. En este tipo de unión, entre dos átomos iguales (como ocurre con los de carbono), sucede que la repartición de los electrones es pareja; en cambio, si la unión se establece entre un nitrógeno y un hidrógeno, el núcleo atómico del nitrógeno por poseer un mayor número de protones, tiene más carga eléctrica positiva y atrae más intensamente los electrones hacia el interior del átomo. Por tanto, la nube de electrones resulta más densa para el átomo de nitrógeno y se crea, así, una asimetría que le otorga a la unión N-H los atributos de un dipolo eléctrico permanente. El nitrógeno posee mayor representación electrónica y esto equivale a un ligero exceso de carga negativa, generalmente representado como  $\delta^-$ . El hidrógeno queda ligeramente deficiente en su contenido electrónico y, por tanto, adquiere una carga parcial positiva que se expresa  $\delta^+$ . La unión se representa con H-N dentro de un cuadrado con  $\delta^+$  en el ángulo superior izquierdo y  $\delta^-$  en el ángulo superior derecho.



La fuerza máxima en una unión de hidrógeno ubicada en el interior de una molécula de proteína es 20 veces menor que la de una

unión covalente y 10 veces menor que la de una unión iónica. Además, para que se produzca una unión de hidrógeno, las moléculas tienen que estar muy cerca una de la otra y sus átomos deben estar en los ángulos convenientes para orientar el hidrógeno *donante* del protón hacia uno de los pares de electrones no compartidos con el nitrógeno o el oxígeno recipiente, donde la densidad electrónica es mayor. Estas uniones influyen en la configuración de las estructuras proteínicas y participan en interacciones electrostáticas.

#### MECANISMO QUIMICO DE LA ENZIMA: CENTRO ACTIVO.

Los mecanismos de interacción química en la actividad enzimática dependen de diferentes factores, como son: la selectividad de una molécula para reaccionar con determinados aminoácidos ubicados en lugares precisos de una cadena polipeptídica; su relación con la región activa de la enzima y su participación en la relación de la llave y el candado de Fischer.

D.R. Storm y D.E. Koshland, Jr. han postulado que la parte activa de la enzima determina la "orientación orbital" para colocar, con precisión, el sustrato y la porción activa de la enzima en la posición requerida para que el complejo enzima-sustrato obtenga el "estado transicional." Esto ordenaría las órbitas de sus respectivas valencias en la relación conveniente

David Blow, Brian Hartley, Jens Birktoft, Brian Matthews y Paul Sigler, del Medical Research Council, de Cambridge, propusieron en 1970 un modelo basado en cristalografía y orientado, principalmente, a la participación de la serina 195 y de la histidina 57, propios de la hemoglobina, que se ha considerado muy valioso aunque presenta algunos puntos controversiales.

Recientemente, la Resonancia Magnética Nuclear (RMN) ha proporcionado valiosos informes acerca de las estructuras moleculares y de su comportamiento. Asimismo, hay verdadero entusiasmo con el uso de la computadora para crear imágenes representativas de las diferentes estructuras de virus, enzimas y otras entidades con relevante participación en fisiología, patofisiología y biología en general.

Hasta hace poco tiempo los matemáticos desdeñaban la computadora, su actitud era similar a la que mantenían los antiguos griegos con respecto al uso de cualquier instrumento para auxiliar al intelecto en la solución de un problema. Pero, gracias a la tecnología moderna, se ha demostrado que los cálculos matemáticos pueden extenderse a niveles no soñados y son fácilmente convertidos en imágenes con resultados sorprendentes.

Las bifurcaciones y ramificaciones sucesivamente repetidas han enriquecido la noción de los fractales (*fractals*) en el estudio de las situaciones caóticas. Se obtienen imágenes equivalentes, en muchos aspectos, a las adoptadas por la naturaleza para producir diversas

formas de Inflorescencias, ramificaciones vegetales y configuraciones sugestivas del proceso evolucionista en animales. Pero a pesar de los importantes avances teóricos y experimentales que han contribuido a explicar cómo se producen los cambios químicos en presencia de la enzima, una cosa es conocer el cómo y otra es saber el por qué de un hecho.

Todavía son muchas las preguntas que la química no puede responder. ¿Cómo justificar, por ejemplo, la naturaleza química de la aceleración de una reacción (miles de millones de veces) por la presencia de una sustancia que prácticamente carece de interacción química? Debemos visualizar, ante todo, lo que significan esas cifras. Resulta muy fácil escribir un número uno con seis ceros sin apreciar su significado. En mis tiempos de actividad docente, para mostrar a los estudiantes lo que representa un millón, solía señalarles que, antes de aparecer los motores de propulsión a chorro, las hélices de un aeroplano no completaban un millón de revoluciones durante las tres horas que transcurrían durante un vuelo desde Santo Domingo a Miami.

Cabe preguntarse también, ¿por qué razón la energía contenida en el sistema no se altera, durante esa extraordinaria aceleración?

Ante esas y otras preguntas, parece a todas luces evidente que la actividad enzimática no puede explicarse dentro de los límites del

proceso puramente químico y, a mi manera de ver, se necesita llegar a la mecánica cuántica para hallar respuestas a esos interrogantes. Esto no debe sorprendernos, porque entre la química y la física ya no existe solución de continuidad y los avances alcanzados en biología molecular se deben a la unificación de estas dos ramas de la ciencia.

El aumento de la temperatura ha sido el método más usado en el laboratorio para acelerar una reacción química. Por lo general, cada aumento sucesivo de 10°C duplica su ritmo. A mayor temperatura, las moléculas adquieren más actividad kinética (vibracional, traslacional y rotatoria), que favorece las colisiones y la interacción entre ellas. Al mismo tiempo, resulta más fácil alcanzar el llamado *estado transicional* que requiere la reacción. En ese estado de transición se producen nuevas uniones químicas que substituyen a las preexistentes y se adquiere una configuración de alto contenido energético. El segundo método en importancia, usado en el laboratorio con la misma finalidad, consiste en agregar ácidos o bases. El aumento de hidrogeniones o de grupos hidroxílicos favorece, respectivamente, la interacción con los grupos amínicos y con los carboxilos. Este método acelera la reacción entre unas diez y cien veces. Es obvio que estos procedimientos no pueden ser aplicados a nivel celular, porque la fragilidad estructural de la célula no tolera esas variaciones y las mismas moléculas enzimáticas pierden su integridad, y por ende, su actividad fisiológica.

Como puede verse, los resultados que se obtienen con esos métodos de laboratorio son absolutamente insignificantes si se comparan con el producto de la actividad enzimática. Por añadidura, ésta ofrece otros aspectos de incalculable importancia biológica.

Si la célula pancreática, por ejemplo, produjera la quimotripsina con plena capacidad fisiológica y la almacenara en su interior, podría sufrir los efectos de su acción proteolítica y se destruirían las estructuras moleculares intracelulares.

Pero, afortunadamente, las cosas ocurren de otro modo. La molécula que eventualmente se convertirá en el fermento activo, es producida, originalmente, con grupos de aminoácidos y con uniones químicas adicionales que interfieren con la estructura intramolecular, y modifican ligera, pero significativamente, la forma de replegarse la molécula sobre sí misma. Esa estructura molecular, de la entidad pre-enzimática, que se denomina *zimógeno*, carece de los atributos propios de la verdadera enzima. Pero cuando el zimógeno es segregado por el páncreas y cae en la luz duodenal, otra *proteasa*, ataca las uniones de los grupos superfluos y la enzima adquiere, junto a su estructura molecular definitiva, su capacidad funcional. Esa activación es irreversible, pues los cambios intramoleculares que la determinan ocurren una sola vez. Por lo cual, se hace indispensable un mecanismo protector capaz de detener la acción proteolítica de la enzima en un momento dado. En algunos casos existen proteínas específicas inhibidoras de proteasas que tienen

la facilidad de adherirse a la región activa de la enzima y bloquear, de ese modo, su actividad fisiológica. Todo esto es bien conocido desde el punto de vista químico, pero, como ya he advertido, si deseamos llegar a la esencia de la actividad enzimática es necesario penetrar en terrenos de la electrodinámica cuántica .

#### MECANICA QUANTICA, QUIMICA Y ENZIMAS.

Debemos partir de la dualidad onda-partícula, que caracteriza a la naturaleza de la luz, como demostró Einstein al explicar el fenómeno fotoeléctrico. Esta situación constituye uno de los ejemplos más sobresalientes, entre aquellos en que rige el principio de los "opuestos complementarios" elaborado por Niels Bohr.

*"Contraria non contradictoria sed complementa sunt".*

Los conceptos opuestos no necesariamente son contradictorios sino que se complementan.

Tanto la teoría ondulatoria como la corpuscular representan descripciones parciales de una misma realidad; cada una es más apropiada que la otra para explicar algunos fenómenos y bajo ninguna circunstancia podrían practicarse pruebas experimentales relacionadas con ambas concepciones a la vez.

Asimismo, es importante aclarar que *una onda cuántica no equivale a cualquier otra clase de onda. No está hecha de ninguna substancia o materia física, sino que representa, más bien, una onda de información y conocimiento.*

*De igual modo, el concepto "partícula" implica un nivel de descripción y no representa constitución de materia.*

Las mismas partículas sub-atómicas, no deben ser consideradas como partículas reales según el significado común de la palabra, pues, de hecho, son sólo representaciones de ideas.

Es útil referir que en mayo del 1927, Niels Bohr y Heisenberg sostuvieron agrias discusiones a este respecto. Heisenberg entendía que los términos "onda" y "partícula" pertenecían a la física clásica y no correspondían a la realidad que mostraban los conceptos cuánticos cuya representación debía ser puramente matemática y de acuerdo con el "Principio de Incertidumbre."

Insistía en descartar esas palabras porque no se ajustaban a los hechos, pero Bohr le respondía: *"Nuestras palabras se tienen que ajustar a lo que queremos expresar porque es lo único que tenemos para comunicarnos."* En otra ocasión explicaba: *"Nuestra tarea no es penetrar en la esencia de la naturaleza cuyo significado de ninguna manera llegaremos a conocer. Más bien, debemos crear conceptos que nos permitan hablar de manera productiva acerca de los fenómenos naturales."*

Este diálogo nos obliga a introducir algunas aclaraciones para que el lector aprecie las dificultades que encuentra el que escribe temas de divulgación científica. Cuando se escribe un trabajo puramente científico se hace referencia a los objetos de estudio y su comportamiento.



Quando se escribe literatura se exponen pensamientos e ideas.

La ciencia es universal.

La literatura es personal.

La ciencia usa las palabras como símbolos.

La literatura usa el lenguaje en toda su extensión, con la fraseología, el estilo, la composición, el ritmo y la elocuencia mezclados de manera característica según el autor.

La literatura se ha descrito como el ejercicio personal del uso del lenguaje con licencia, a veces, para variar los significados de las palabras.

Eso no es posible cuando se escribe una obra científica o un trabajo para una revista dedicada a la investigación.

Quando se acomete la tarea de escribir divulgación científica, surge la doble dificultad de someterse a las restricciones que impone la disciplina correspondiente junto a la corrección gramatical y al buen gusto literario de que disponga el autor.

Sólo así, se logra una lectura amena y capaz de cumplir la difícil misión didáctica.

Desgraciadamente, muchas veces resulta imposible obtener el equilibrio deseado entre el nivel científico, lo comprensible y la forma agradable de la exposición.

Entonces, la receptividad del lector es nuestro único refugio.

Cerremos este prolongado paréntesis y regresemos a las enzimas.

Al referirnos a la actividad enzimática, es conveniente hacer notar que las moléculas participantes se mantienen en un constante estado vibratorio dentro de un campo electromagnético.

El núcleo atómico, debido a su carga eléctrica y su rotación (spin), representa una barra magnética con su eje equivalente al eje de rotación y es capaz de crear un campo magnético. De aquí se deriva el concepto del momento magnético nuclear. Las cargas eléctricas positivas de los protones dentro del núcleo están equilibradas por las cargas negativas de los electrones que ocupan sus conchas respectivas, pero los electrones ubicados en las órbitas más cercanas al núcleo hacen el papel de un escudo capaz de amortiguar la atracción que ejerce el núcleo en los electrones periféricos. Por esa razón, estos electrones son los responsables de que se produzcan las diferentes reacciones químicas.

Rudolph Marcus, del California Institute of Technology, obtuvo el Premio Nobel de Química en 1992 por sus análisis matemáticos desarrollados entre 1956 y 1965 acerca de las causas y efectos de los saltos que llevan a los electrones de una molécula a otra. Cuando un electrón salta de esa manera en una solución, se modifican las estructuras de las dos moléculas al igual que las de aquellas otras contenidas en la solución. Explica que esos cambios aumentan temporalmente la energía de las moléculas incluídas en el sistema y proporcionan una fuerza que impulsa la transferencia de los electrones.

Sus ideas no fueron confirmadas hasta 1980 y se considera que este descubrimiento ayuda a explicar muchas reacciones químicas complicadas, como la fotosíntesis. Sin embargo, esos trabajos no penetran en los terrenos de la actividad enzimática donde la participación del electrón, comparada con su conducta en las reacciones químicas sin participación de la enzima, alcanza diferencias abismales.

Otra condición, que no puede olvidarse, es la inviolabilidad del Principio de Pauli y de su derivado, el Principio de Exclusión. Pauli recibió el Premio Nobel en 1945 por esa contribución.

Estos principios nos imponen que dos electrones no pueden ocupar una misma órbita, a excepción de los que tienen *spin antiparalelo* (rotaciones diferentes).

El movimiento del electrón dentro del átomo está regido por las relaciones entre los siguientes componentes cuánticos:

- 1.- El spin (rotación), según se ha explicado, puede presentar una modalidad alfa ( $\alpha$ ) y otra beta ( $\beta$ )
- 2.- El llamado "número cuántico principal" ( $n$ ) representa la energía del electrón en su órbita elíptica (introducida por Sommerfeld al igual que el término "número cuántico") representa la suma del componente *azimuthal* ( $n_\phi$ ) y el radial ( $n_r$ ).
- 3.- El número cuántico del momento orbital ( $l$ ) representa la elipticidad de la órbita y varía con valores íntegros 0,1,2.
- 4.- Al "número cuántico magnético" se le asigna ( $m_l$ )

Cuando  $n=1$ , el único valor permitido para  $(l)$  es cero (0); pero cuando  $n=2$ ,  $(l)$  puede ser igual a cero (0) o a uno.

Los orbitales con  $l \geq 0$  tienen 0 amplitud en el núcleo, por lo cual no hay probabilidad de encontrar el electrón en ese lugar.

Es oportuno señalar que, según los dictados de la mecánica cuántica, es casi imposible visualizar la conducta del electrón con nuestra manera habitual de pensar.

El siguiente diálogo entre Richard Feynman y Freeman Dyson, puede darnos una idea a ese respecto:

-Feynman: El electrón hace lo que le viene en ganas. Va en cualquier dirección, a cualquier velocidad, se adelanta o se atrasa en el tiempo, ¡entonces, uno suma las amplitudes y obtiene la función de onda!

-Dyson: Estás loco. Y, acto seguido, se dice a sí mismo: ¡pero no lo está!

Con esas ideas introdujo Feynman su conocido "Paso Integral".

En resumen, la mecánica cuántica, en lo que concierne al electrón, ha substituído el concepto de trayectoria por la *función de onda* que ofrece un cálculo de probabilidades para establecer su ubicación espacial y se debe consignar, que el electrón, en un momento dado, puede aparecer como si saltara o atravesara un muro simbólicamente insalvable mediante el fenómeno de *tunelización*.

Feynman, fue uno de los genios más pintorescos de la física moderna, muerto relativamente joven, el 14 de Feb. del 1988.

La función de onda que acabamos de mencionar se representa con la letra griega psi ( $\psi$ ) y la mecánica ondulatoria ofrece el procedimiento fundamental para calcularla e interpretarla. Entre las autoridades que contribuyeron a establecer la función de onda, hay que mencionar a Niels Bohr, Heisenberg, Schrödinger, Born, De Broglie, Dirac, y Slater. La ecuación general de Schrödinger para establecer la función de onda es:

$$\Psi(x,t) = \sum_n c_n \Psi_n(x,t)$$

Donde  $\sum_n$  representa la suma de todos los valores de  $n$ , mientras

que  $\psi(x,t)$  (una función de la posición  $x$  y el tiempo  $t$ ), es la amplitud general de un punto dado  $x$  y un tiempo dado  $t$ .

La función  $\psi$  es llamada una función de onda o un estado y  $\psi_n(x,t)$  es la amplitud especial para una moción de nodo\*  $n$ . El número  $c_n$  indica la cantidad con que el modo\*\*  $\psi_n$  contribuye a  $\psi$ . Los modos  $\psi_n$  son frecuentemente llamados "eigenstates" (eigen, en el idioma alemán, corresponde a propio).

---

\* Nodo, es un punto en reposo dentro de un sistema vibracional.

\*\* Modo, en estadística, es un valor numérico intermedio.

En 1924, De Broglie postuló, en su famosa tesis, que una partícula moviéndose con un momento  $p$  debería tener una longitud de onda dada por la relación de Broglie:  $\lambda = h/p$  (longitud de onda = a la constante de Planck dividida por el momento).

Esto fue experimentalmente demostrado por Clinton Joseph Davison y Lester Halbert Germer, en los EE UU y, más tarde, por G.P. Thomson, Rupp y otros en la Gran Bretaña.

Bohr, Kramer y Slater introdujeron el significado de la probabilidad de la onda como una "tendencia a algo." Este concepto se relacionó con la antigua "potencia" de la filosofía Aristotélica e introdujo la idea de un estado entre la posibilidad y la realidad. Uno de los puntos culminantes acerca de este tema lo constituye la participación de Schrödinger, quien poseía una mente brillante asociada a una manera de pensar puramente clásica. Y debe añadirse que cuando realizó sus trabajos más importantes, su edad era más cercana a la de Niels Bohr que a las de Heisenberg y Dirac, los coprotagonistas en esos bellos episodios de la historia de la ciencia.

Heisenberg descubrió en el año 1926 su famoso Principio de Incertidumbre que constituye una condición inherente a las ecuaciones que rigen la mecánica cuántica. Recibió el Premio Nobel en 1932.

Ese principio establece que el momento ( $p$ ) y la posición ( $q$ ) de un electrón, nunca pueden obtenerse con certeza, simultáneamente.

La cantidad de "error" en nuestras medidas se expresa con  $\Delta p$  o  $\Delta q$ , ya que los matemáticos usan la letra griega delta, ( $\Delta$ ), para indicar pequeñas porciones de cantidades variables. Aquí se escribe la delta mayúscula ( $\Delta$ ) mientras, al referirnos a las uniones de hidrógeno se usó la minúscula ( $\delta$ ). La razón de esa situación radica en que  $\Delta p \times \Delta q$  tiene que ser siempre mayor o igual que ( $\geq$ ) la constante de Planck ( $h$ ) dividida por  $2\pi$  (introducida por Dirac, se expresa con una  $h$  cruzada y se lee "h bar" ( $h$  barra)).

Mientras más precisa es la medición de la posición de una partícula menos cierta es la dirección de su momento y viceversa.

*Es necesario señalar que esta situación no representa insuficiencia alguna en el procedimiento usado para hacer la medición. Sino que establece, necesariamente, la negación de una verdad absoluta en el mundo cuántico.*

Las matemáticas usadas por Heisenberg corresponden a un sistema denominado, Mecánica de Matrices.

Dirac, a su vez, inventó una forma especial de álgebra, a la que llamó "álgebra cuántica", en la cual incluye la suma y la multiplicación de variables cuánticas a las que él denominó "números  $q$ ." Estos números tienen la peculiaridad de que, al comparar dos de ellos, es imposible decir cuál de los dos es mayor o menor que el otro. Dirac pudo conciliar los resultados de la mecánica de matrices de Heisenberg con la mecánica ondulatoria de Schrödinger y demostró, además, que la rotación (spin) del electrón es una pro-

piedad relativista que carece de relación con la rotación de los objetos en el mundo de nuestras percepciones sensoriales.

Como ya se dijo, Dirac y Schrödinger recibieron el Premio Nobel de Física en 1933.

#### ASPECTO HUMANO DE UN MEMORABLE EPISODIO CIENTIFICO.

Para apreciar mejor el aspecto humano de los hechos relatados en los últimos párrafos, es conveniente revisar algunos episodios protagonizados por esos colosos de la ciencia, mientras hacían sus trascendentales aportaciones. Pero, en beneficio de algunos lectores, retrocederé para presentar importantes acontecimientos previos que permitirán una mejor evaluación de los hechos relacionados con este tema.

Después de la prolongada pugna entre la teoría corpuscular de Newton y la teoría ondulatoria de Huygens para explicar la naturaleza de la luz, surgen los monumentales trabajos de James Clerk Maxwell, quien no sólo identifica la luz visible como parte del espectro electromagnético, sino que demuestra la primera gran unificación de dos fuerzas al introducir el concepto del electromagnetismo. Los trabajos de Hertz fortalecieron aun más esos criterios y parecía en esos momentos, que el triunfo de la teoría ondulatoria era definitivo. Pero ante el episodio conocido como "La Catástrofe Violeta", descrito en mi libro "Simplemente un Rayo de Luz", la ciencia se encontraba en una encrucijada debido a los resultados



contradictorios que se obtenían al estudiar la emisión de las radiaciones energéticas. La solución se obtuvo cuando Max Planck concibió su innovadora Teoría del Quantum.

Así se inicia la era de la Física Moderna y termina la que se ha denominado Física Clásica.

Einstein promovió las ideas de Planck, con tal entusiasmo, que este máximo representante del clasicismo, al ver las consecuencias, se sintió inseguro de sus propios planteamientos y, como un niño que comete una travesura, llegó a excusarse de haber introducido su formidable cuantización de la energía.

El aparente antagonismo con las sacrosantas ecuaciones de Maxwell era motivo suficiente para perturbar al austero sabio prusiano. Pero la actitud de Einstein se caracterizó, en esos momentos, no sólo por sus geniales concepciones, sino por su audacia y su rebeldía. No vaciló en acometer las empresas aparentemente más temerarias y no le preocupó manifestarse en contra del sentido común, sino que se complació en ridiculizarlo. Demostrar las limitaciones de las ecuaciones Newtonianas, quitar al tiempo su valor absoluto, destruir el concepto de simultaneidad y muchas otras de sus aportaciones, lo convertían en el genio más revolucionario en la historia de las ciencias.

Su teoría de la relatividad era tan opuesta a nuestras percepciones sensoriales, que por parecer increíble, hacía más difícil su comprensión.



W Heisenberg a los 60 años de edad.  
Murió de cáncer a los 64 años.



Erwin Schrödinger



A la izquierda Werner Heisenberg conversando con Niels Bohr en la Conferencia de Copenhague en 1934.



Ceremonia del Premio Nobel.  
En el centro el Rey de Suecia.  
A la izquierda Schrödinger.  
A la derecha Heisenberg.P

Eso contribuyó a que muchos sabios de su época la ignoraran y a pesar de constituir una de las concepciones más grandiosas del pensamiento científico, no fue galardonada. Einstein recibió el Premio Nobel de Física al explicar el fenómeno fotoeléctrico basado en las ideas de Max Planck. Introdujo, además, el término "Quantum", pues Planck sólo habló de "elementos de energía." En cambio, el término "photon" lo introdujo Gilbert Lewis, en 1926, hasta entonces, Einstein se refería a "granos o corpúsculos de luz".

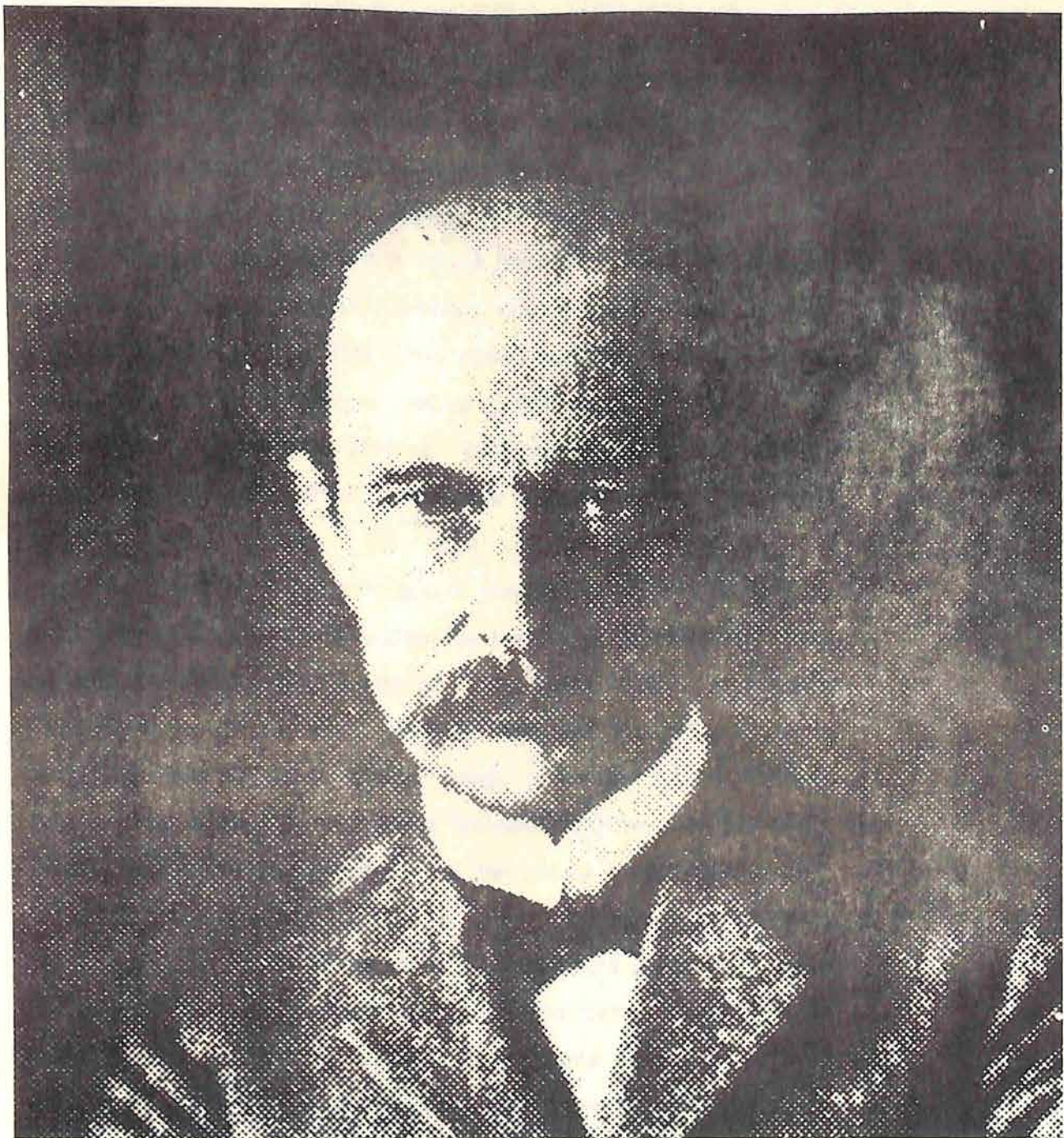
Pero el genio nos muestra, en un momento dado, su innegable naturaleza humana. Cuando Einstein tuvo que afrontar las consecuencias de la teoría cuántica que, con tanta determinación, él mismo había impuesto, no pudo continuar la trayectoria que su propio genio había iniciado. Para Einstein, el "Principio de Incertidumbre" no podía ser la respuesta a las interrogantes que ofrece la naturaleza. Su sentido estético le impedía aceptarlo como una expresión satisfactoria de la verdad científica y murió sin cambiar esa manera de pensar.

Schrödinger que, como se ha señalado, poseía una mentalidad brillante sometida a un molde clásico, no pudo ser menos refractario a las nuevas ideas. Sin embargo, sus aportaciones fueron de enorme utilidad para facilitar los avances de la corriente que él hubiera preferido detener. En esas circunstancias, fue invitado por Niels Bohr a pasar unos días en Copenhague para discutir ampliamente sus diferentes puntos de vista.

Ese encuentro, lo relata Heisenberg en la magnífica obra de French y Kennedy, intitulada "Niels Bohr, A Centenary Volume". (no reduzco el tamaño de las letras para hacer menos fatigosa tan interesante lectura). He aquí la historia:

"A finales del verano del año 1926, Sommerfeld invitó a Schrödinger para que hiciera una exposición en el seminario de Múnich. Durante las discusiones subsiguientes yo hice algunas objeciones a la interpretación que hacía Schrödinger de la mecánica cuántica y señalé, enfáticamente, que esa concepción no era siquiera compatible con la ley de radiación de Planck. Como consecuencia, fui severamente reprendido por Wilhelm Wien, quien me dijo, de manera áspera, que si bien entendía mi frustración ante el fracaso final de la cuántica y de los disparates que implicaban los saltos cuánticos, las objeciones que yo había señalado serían, con seguridad, resueltas en un futuro próximo por el mismo Schrödinger..."Regresé a mi casa tan lleno de tristeza que creo haberle escrito a Niels Bohr, esa misma noche, acerca del desagradable incidente y quizás esa carta motivó la invitación que recibiera Schrödinger para que fuera a pasar parte del mes de septiembre en Copenhague".

"Schrödinger aceptó y yo, sin perder tiempo, viajé también a Dinamarca. Las discusiones entre Bohr y Schrödinger se iniciaron en la misma estación del tren y continuaron diariamente desde temprano en la mañana hasta tarde en la noche. Schrödinger se alojó en la casa de Bohr para que nada perturbara sus conversaciones.



Max Planck, iniciador de la física moderna al introducir su famosa teoría del quantum.



Debo aclarar que Bohr era normalmente atento, considerado y amistoso en su trato con las gentes, pero en esta ocasión me parecía transformado en un fanático inmisericorde, incapaz de hacer la menor concesión o de admitir que pudiera estar equivocado.

Es imposible describir hasta dónde llegaba el apasionamiento en estas discusiones entre dos hombres cuyas convicciones estaban tan profundamente arraigadas. Sólo puedo tratar de ofrecer una pálida imagen de ese debate, en el cual, dos brillantes intelectos luchaban por defender sus propias interpretaciones de los nuevos planteamientos matemáticos, con todas las fuerzas de que disponían."

Decía Schrödinger: 'No dudo que te das cuenta de la total falta de sentido que encierra toda esa idea de los saltos cuánticos. Primero arguyes, que si un átomo está en estado estacionario, el electrón hace su traslación periódica, pero no emite luz, cuando, según la teoría de Maxwell, debe emitirla. Luego pretendes que el electrón salte de una órbita a otra y emita radiación. ¿Debe ser ese salto, gradual o súbito? Si es gradual, la frecuencia orbital del electrón y su energía deberían, también, cambiar gradualmente. Pero, en este caso, ¿cómo puedes explicar la persistencia de líneas cortantemente definidas en el espectro? Por otra parte, si el salto es súbito, la idea de Einstein acerca de los quanta de luz nos llevaría al número de onda correcto". "Pero, entonces, debemos preguntarnos ¿cómo se comporta, precisamente, el electrón durante ese

salto? ¿Por qué no emite un espectro continuo como lo demanda la teoría electromagnética? Y ¿qué leyes gobiernan su movimiento durante el salto? En otras palabras, esa idea es, en resumen, una fantasía".

Bohr, responde: "Todo lo que dices es absolutamente correcto. Pero no prueba que los saltos cuánticos no existen. *Sólo prueba que no somos capaces de imaginarlos, porque la representación conceptual con que describimos los eventos en nuestra vida diaria y en los experimentos de la física clásica son inadecuados cuando se trata de describir los saltos cuánticos. Pero no debemos sorprendernos de que sea así, puesto que los procesos involucrados no son objetos de experiencias directas.*"

Schrödinger:" Yo no quiero entrar en argumentos acerca de la formación de conceptos. Prefiero dejarle eso a los filósofos. Yo sólo deseo conocer qué pasa en el interior del átomo. No me preocupa el lenguaje que uses para discutirlo."

"Si en el átomo hay electrones y si (como todos nosotros creemos) estos son partículas entonces deben necesariamente moverse de alguna manera". "No estoy preocupado con una descripción precisa de ese movimiento, pero debe ser posible determinar, en principio, cómo se comportan en estado estacionario o durante la transición de un estado al próximo."

"Pero, con las matemáticas de que disponemos, es claro que no podemos esperar respuestas razonables a esas preguntas."

Sin embargo, desde el momento en que cambiáramos el cuadro y dijéramos que no hay electrones discretos, sino electrones ondas o bien ondas de materia, todo luciría diferente. Ya no nos preocuparían las líneas bien definidas del espectro. La emisión de luz sería tan fácilmente explicable como la transmisión de ondas de radio por una emisora y desaparecería lo que parecía una contradicción insoluble."

Bohr: "Permíteme disentir. Las contradicciones no desaparecen. Simplemente han sido puestas a un lado. Hablas de emisiones de luz por parte del átomo o, en sentido general, de la interacción entre el átomo y el campo de radiaciones circundantes, y piensas que todos los problemas quedarían resueltos una vez que aceptáramos la existencia de ondas de materia en vez de los saltos cuánticos. Pero toma, simplemente, el caso del equilibrio termodinámico entre el átomo y el campo de radiaciones. Recuerda, por ejemplo, las derivaciones Einsteinianas de la ley de radiación de Planck. Estas derivaciones demandan que la energía del átomo debe tener valores discretos y debe cambiar de tiempo en tiempo, de forma interrumpida; los valores discretos para las frecuencias no nos ayudarían para nada en este caso. ¡Y tu no puedes pretender, seriamente, arrojar la menor duda sobre las bases de la teoría del quantum!".

Schrödinger: "En ningún momento he pretendido que todas esas relaciones hayan sido completamente explicadas. Pero, entonces, tú

también has fallado hasta ahora en descubrir una interpretación física de la mecánica cuántica." "No hay razón para creer que la aplicación de la termodinámica a la teoría de las ondas de materia no pueda proporcionar una explicación que satisfaga la fórmula de Planck, al mismo tiempo. Puede haber una explicación diferente a las anteriores".

Bohr: "No. No existe la menor esperanza al respecto. Nosotros hemos sabido bien, durante los últimos veinticinco años, el significado de la fórmula de Planck y, por añadidura, podemos ver las inconsistencias experimentales de esa proposición. Podemos ver los saltos bruscos en los fenómenos atómicos muy directamente, por ejemplo, cuando observamos los destellos de luz en una pantalla de escintilación o el cambio brusco del electrón en una cámara de neblina. Simplemente, no puedes ignorar esas observaciones y actuar como si no existieran en absoluto."

Schrödinger: "Si todos esos condenados saltos cuánticos estuvieran destinados a persistir, lamentaría para siempre haber incursionado en la mecánica cuántica".

Bohr: "Pero el resto de nosotros, estamos profundamente agradecidos de que lo hayas hecho". "Tu mecánica ondulatoria ha contribuido notablemente a la claridad y a la simplicidad de las matemáticas y supera a toda otra forma de mecánica cuántica..."

Heisenberg prosigue su relato y nos dice que esas discusiones continuaban interminablemente y que, después de unos días,

Schrödinger presentó un cuadro febril con escalofríos, probablemente causado por el enorme esfuerzo intelectual y la fatiga. Tuvo que permanecer acostado, y mientras la señora de Bohr lo cuidaba con tisanas y bizcochos, Niels Bohr, sentado en el borde de la cama, insistía en sus argumentos con frases como: "No puedes negar...Tienes seguramente que admitir, ..etc."

Finalmente, Heisenberg, al concluir su relato describe la situación que, en esos momentos, imperaba en el ambiente científico: "No era de esperar, en esos momentos, que se llegara a ningún acuerdo, pues ninguno de los dos podía ofrecer, entonces, una explicación coherente de la mecánica cuántica. Sin embargo, el resultado fue suficiente para que los integrantes del grupo de Copenhague nos sintiéramos convencidos de estar en el camino correcto. Pero podíamos ver cuán difícil era persuadir a los físicos más importantes de que debían abandonar todo intento de construir modelos perpetuales de los procesos atómicos."

Es éste, sin duda, el momento oportuno para destacar algunas de las cualidades que hicieron de Niels Bohr un ser excepcional. Si unimos el aspecto científico y el humano, después de él y Einstein, es muy difícil hallar un tercero tan grande como ellos. Abraham Pais, en su bella obra "Niels Bohr's Times," compara los siguientes datos : "Ambos vivieron casi hasta una misma edad. Einstein murió a los 76 años y Bohr a los 77; fueron genios que admitían sus errores sin dificultad y que tenían una idea muy similar de un Dios que no se ocupa de los problemas diarios de los hombres.

La caligrafía de Einstein era clara, la de Bohr ilegible; Einstein tuvo una gran sensibilidad musical que no poseía Bohr; por otra parte Bohr fue un excelente atleta, mientras que Einstein nunca tuvo una actividad deportiva. Los dos fumaban en pipa; ambos tuvieron familiares cercanos con severos trastornos psiquiátricos. Einstein, un hijo esquizofrénico y Bohr una hermana maníacodepresiva. Los dos crecieron en hogares llenos de calor afectivo.

En Einstein dominó la influencia materna, su padre no tuvo mucho sentido práctico y sufrió varios fracasos financieros. Contrariamente, Bohr tuvo en la imagen paterna el ejemplo de un eminente científico. Einstein procedía de una clase media con poca estabilidad económica. Bohr provenía de más elevada alcurnia, hizo una vida de hogar ejemplar, fue un padre cariñoso y devoto de sus hijos. Einstein, por su parte, se casó más de una vez, tuvo una hija que casi no conoció y nunca alcanzó la envidiable realización de Bohr en el aspecto sentimental. Ambos fueron afectuosos en su trato con las demás personas sin importarles rangos ni condiciones sociales; se preocuparon por los menos favorecidos de la fortuna y eran profundos conocedores del alma humana. Einstein nunca se sintió fuertemente atado a ningún terruño, mientras que Bohr amó fervorosamente a Dinamarca. Entre sus diferencias más importantes es oportuno mencionar la marcada tendencia de Einstein a abstraerse en sus propios pensamientos, en busca de la verdad, mientras, Niels Bohr prefería estar rodeado de gente que compartiera sus inquie-

tudes y disfrutaba del intercambio de ideas. Eso contribuyó a que Bohr dejara una pléyade ilustre de jóvenes discípulos, mientras que Einstein no dejó escuela." Probablemente las aptitudes más sobresalientes compartidas por estos dos colosos, fueron sus maneras de interpretar a la naturaleza y la capacidad de exponer sus conceptos por encima de la lógica común y hasta de las expresiones matemáticas. Sus ideas eran notoriamente anti-intuitivas; las visualizaban y las ordenaban a veces de manera inexplicable y, si en ocasiones se vieron obligados a hacer modificaciones sucesivas a sus planteamientos, llegaron finalmente a soluciones satisfactorias que sorprendieron a los genios con quienes compartían la búsqueda del conocimiento. Bohr, en cuanto a matemáticas, se calificaba a sí mismo como un simple aficionado que, a veces, "no podía seguir la exposición de los expertos". Publicó muchos de sus trabajos más trascendentales de manera conceptual y sin incluir ecuaciones. Una vez, los físicos que trabajaban en la bomba atómica, en Los Alamos, discutían el dilema de la conducta de los isótopos del uranio mientras se trasladaban de un edificio a otro, Bohr, abandonó la conversación y después de permanecer en silencio unos minutos expresó: "Ya entiendo lo que pasa", y con toda sencillez resolvió el problema que tenía desconcertados a los que trabajaban en el proyecto. Einstein, a su vez, para aplicar la técnica de los tensores a su teoría general de la relatividad, tuvo que recurrir a su amigo Marcel Grossmann, quien desde estudiante, había sido su

pañó de lágrimas en los cursos de matemáticas. Nunca aceptó la mecánica cuántica de Bohr y su grupo de Copenhague, en el cual se destacaban Heisenberg y Pauli. Rechazaba el Principio de Incertidumbre porque, según su sentido estético, "Dios no pudo crear el universo jugando a los dados". Bohr, respondió a esa famosa frase con otra no menos incisiva: "¡Hasta cuando vas a decirle a Dios como debe pensar!" Luego S. Hawking ha añadido : "Dios no sólo juega a los dados sino que, a veces, los tira donde no se vean."

Hoy los grandes avances tecnológicos han permitido demostrar, experimentalmente, que Bohr tenía la razón. La comprobación del teorema de Bell con el experimento de A.Aspect, J. Dalibard y G. Roger, publicado en Physical Review Letters, en diciembre del año 1982, constituye uno de los ejemplos más contundentes.

Finalmente, la gran diferencia entre ambos es que cualquier ciudadano común sabe que existió un gran sabio llamado Einstein, pero pocos de ellos han oído hablar de Niels Bohr.

Del mismo modo pueden ignorar que raras veces los sentimientos humanos han alcanzado tan elevadas cimas del amor, en forma de *amicitia*, como ocurrió con estos antagonistas, irreconciliables hasta la muerte en el terreno científico.

Para dar una idea de esos sentimientos me permito introducir algunos párrafos de cartas famosas escritas por cada uno de ellos para el otro.



Einstein le escribe a Niels Bohr en fecha 2 de mayo del 1920, poco después de su primer encuentro, cuando Bohr estuvo en Berlín, invitado para hablar acerca de su concepción del átomo. En esa ocasión dice lo siguiente: "Rara vez en mi vida me ha producido tanta alegría la simple presencia de un hombre como ha ocurrido con Ud. Ya entiendo porqué Ehrenfest lo quiere tanto".

Bohr, a su vez, responde: "Conocerle y hablar con Ud. ha sido la mayor experiencia que jamás haya tenido. Ud. no sabe cuán estimulante fue para mí oír sus puntos de vista... Nunca olvidaré nuestras discusiones mientras caminábamos desde Dahlem hasta su casa... "

Pero si esas expresiones pueden considerarse declaraciones de amor intelectual a primera vista, se quedan pálidas ante el incremento de sus relaciones afectivas como consecuencia de lo que representó cada uno para el otro.

Cuando Bohr fue laureado con el Premio Nobel, Einstein le envió una carta de felicitación que fue redactada el 11 de enero del 1923, mientras cruzaba el Pacífico en el barco Haruna Maru. En ella dice: "Estimado o más bien ¡Querido Bohr! (El encabezamiento en inglés contiene los términos *dear* y *beloved*). Tu afectuosa carta llegó a mis manos poco antes de salir de Japón. Puedo decir, sin ninguna exageración, que me produjo tanto placer como el Premio Nobel. Encuentro especialmente delicada tu preocupación ante la posibilidad de que te otorgaran el Premio antes que a mí. Eso es verdaderamente '*Bohrish*'."

"Tus nuevas investigaciones acerca del átomo me han acompañado en mis viajes y han aumentado aun más mi aprecio por tu intelecto... "Congratulaciones cordiales. Espero ansioso el momento de vernos nuevamente, a más tardar en Estocolmo.

Tuyo en Admiración, A. Einstein.

Regresemos a los conceptos cuánticos en relación con la actividad enzimática. Para los lectores interesados, expondré una secuencia de ecuaciones y conceptos relacionados con la función de onda de Schrödinger. Pero se advierte que *la partícula es, realmente, un haz de fuerza en su campo electromagnético.*

Para una partícula de masa  $m$  que se mueve en una dirección con energía  $E$ , la ecuación es:  $(\hbar^2/2m)(d^2y/dx^2) + V\psi = E\psi$ .

$V$  es el potencial energético de la "partícula" y depende de la posición;  $\hbar$  bar fue descrita anteriormente y  $x$  representa un punto en particular. En una región donde el potencial de la energía es cero:  $-(\hbar^2/2m) d^2y/dx^2 = E\psi$ .

En una región donde el potencial de energía es uniforme, pero no cero, la ecuación de Schrödinger es:

$$(\hbar^2/2m)d^2y/dx^2 = (E-V)\psi.$$

La de Schrödinger es una ecuación diferencial de segundo orden y, por tanto, tiene un número infinito de soluciones.

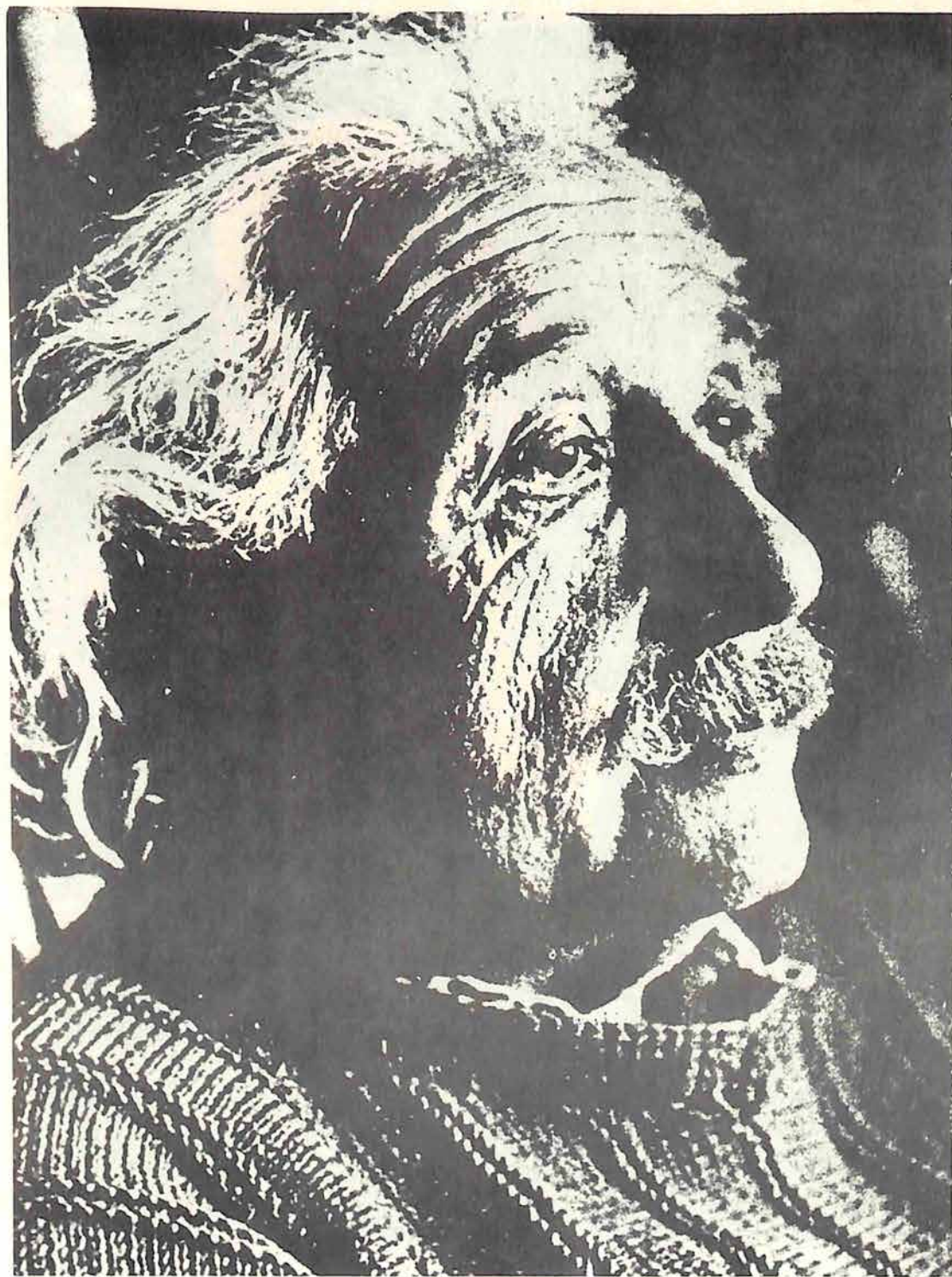
Por ejemplo, en el caso de una partícula libre,  $e^{ikx}$  es una solución; como también lo es  $Ae^{ikx}$  donde  $A$  tiene cualquier valor



Niels Bohr y Einstein en una de las múltiples ocasiones en que pudieron cruzarse sus famosas frases. Einstein: "Dios no pudo crear el Universo jugando a los dados." Bohr: "¿Hasta cuándo vas a decirle a Dios como debe pensar ?."



Niels Bohr.



Einstein, en 1946.



Niels Bohr (1885-1962)



Einstein, en la Oficina de Patentes  
de Berna. Suiza.

y  $k$  (y por tanto  $E$ ) es arbitraria. El próximo paso consiste en darle una interpretación a  $\psi$  y encontramos, entonces, que muchas soluciones matemáticas son físicamente inadmisibles. Esto implica que al descartar las soluciones que caen en ese grupo, se rechazan algunos valores de  $E$ , lo que claramente se ajusta con la cuantización de la energía.

La interpretación de  $\psi$  se basa en una sugerencia de Max Born tomada de una analogía con la teoría ondulatoria de la luz, en la cual el cuadrado de la amplitud de una onda electromagnética es interpretado como la intensidad y, por tanto, en términos cuánticos, como el número de fotones presentes. Born admitía las ecuaciones de funciones de onda como las más convenientes para resolver muchos de los problemas en la mecánica cuántica, pero le disgustaba la idea de tomar a  $\psi$  en calidad de una "verdadera" onda del electrón. Por esa razón, prefirió buscar una manera de asociar la función de onda con la noción de partícula.

Según él, las partículas eran reales, pero en algún sentido estaban guiadas por las ondas y la fuerza de la onda,  $\psi^2$  en cualquier punto del espacio de  $x$  a  $x+dx$  expresado por  $\psi^2(x)dx$  era una medida de probabilidad de hallar la partícula en un punto supuesto.

Esta interpretación de Born implica que el cuadrado de la función de onda ( $\psi^*\psi$  cuando  $\psi$  es compleja) es proporcional a la probabilidad de hallar la partícula en cualquier punto del espacio.

Debe aclararse que  $\psi^*$  es una función compleja que contiene el número imaginario  $i$  equivalente a  $\sqrt{-1}$ . En esos casos la probabilidad  $\psi^*\psi dx$ , donde  $\psi^*$  -léase psi estrella- es el complejo conjugado de  $\psi$ , (formado al cambiar  $i$  por  $-i$  en todas partes). Por ejemplo, si  $\psi = Ae^{-ix}$ ,  $\psi^* = Ae^{ix}$ .  $\psi^2$  es proporcional a la probabilidad de hallar la partícula en cada punto del espacio. Específicamente, para un sistema unidimensional: si la amplitud de la función de onda de una partícula es  $\psi$ , a un punto  $x$ , la probabilidad de hallar la partícula entre  $x$  y  $x+dx$  es proporcional a  $\psi^*\psi dx$ . Esto significa que  $\psi^*\psi$  es una densidad de posibilidad (puesto que debe ser multiplicada por la longitud de la región infinitesimal  $dx$  a fin de llegar a la probabilidad), en sí misma,  $\psi$  representa una amplitud de probabilidad.

Para una partícula que se mueve en tres dimensiones, como es el caso del electrón en la actividad enzimática, la dada función de onda  $\psi$ , depende del punto tau ( $\tau$ ) con las coordenadas  $x$ ,  $y$ ,  $z$  y la interpretación de  $\psi_\tau$  es entonces la siguiente: Si la amplitud de la función de onda de una partícula es  $\psi$  en algún punto  $\tau$ , la posibilidad de hallar la partícula en cualquier volumen infinitesimal  $d\tau = dx dy dz$  al punto  $\tau$  es proporcional a  $\psi^*\psi d\tau$ .

Frecuentemente las funciones de onda son usadas de manera normalizada, por ejemplo  $\psi$  puede incluir un factor como

$$\int_{-\infty}^{\infty} \psi^*\psi dx = 1$$



En el caso de tres dimensiones, la función de onda normalizada es:

$$\int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} \psi^* \psi \, dx \, dy \, dz = 1$$

Puede también expresarse más sucintamente:  $\int_{-\infty}^{\infty} \psi^* \psi \, dt = 1$

Al interpretar la función de onda según la proposición de Born, es necesario imponer severas restricciones.\*

En primer lugar esa función de onda no puede ser infinita en ningún momento.

Con esto se eliminan muchas posibles soluciones de la ecuación de Schrödinger, porque con frecuencia tienden, matemáticamente, hacia esa dirección.

Asimismo, la solución de Born implica que es absurdo tener más de una probabilidad para ubicar una partícula en un punto determinado. Esta restricción se expresa al decir que la función de onda tiene que ser de evaluación única o sencilla.

Una función de onda sólo es aceptable con estas restricciones :

1. Si es continua.
2. Si tiene declinación suave (no abrupta).
3. Si tiene un valor único.
4. Si es finita.

### MECANICA QUANTICA Y ACTIVIDAD ENZIMATICA, UN MODELO.

Antes de introducir mis ideas personales es útil mencionar ciertas características propias de la actividad enzimática:

1.- La aceleración extraordinaria de la reacción química por la presencia de la enzima que multiplica miles de millones de veces la velocidad que tenía sin ella.

2.- La inalterabilidad de la enzima porque sólo participa de manera transitoria y reversible en el proceso químico.

3.- La reconocida especificidad de la acción enzimática, aunque sabemos que algunas enzimas actúan sobre diferentes substratos químicamente distantes.

4.- La estabilidad de la energía en el sistema sin que se produzca un aumento de consumo relacionado con la marcada aceleración de la reacción química.

5.- La necesidad de la fijación del centro activo de la enzima con relación al substrato para lograr el llamado "estado transicional" que precede a las manifestaciones de la actividad enzimática.

Una explicación plausible de lo que ocurre durante la participación de la enzima en una reacción química, debe ajustarse a todos esos aspectos.

Eso pretende un modelo conceptual basado en criterios cuánticos con la adición de datos obtenidos mediante estudios recientes acerca de las complejidades.

Si, como es obvio, la aceleración de la reacción química se relaciona con la actividad del electrón, cabe preguntarse: ¿Qué mecanismo puede permitirle a la enzima acelerar una reacción química, con magnitudes que obligan a usar anotación exponencial, por el solo hecho de estar presente? A ese respecto, puede afirmarse que se trata de un mecanismo físico y, de acuerdo con los postulados de la mecánica cuántica, al tratar los electrones como ondas, su conducta debe implicar cambios en su función de onda, aunque estos sólo sean apreciables en sus manifestaciones biológicas.

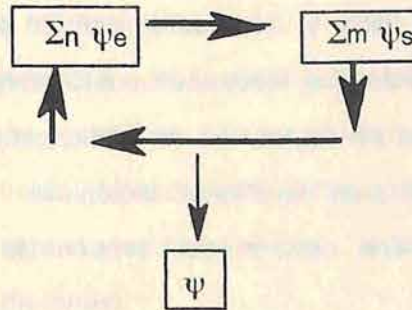
Como explicación general, ese modelo propone la siguiente ordenación de conceptos:

Debe recordarse, que según Max Born,  $\psi^2$  representa el cuadrado de la amplitud de la onda del electrón y que corresponde a la intensidad de la onda.

Los electrones ubicados, de manera específica, en el centro activo de la enzima operan en un mismo campo electromagnético. La dirección de su momento sólo es determinante para obtener el resultado final, sin importar, de acuerdo con el paso integral de Feynman, los acontecimientos cuánticos intermediarios. Ellos Interaccionan con los electrones del substrato, de modo, que los unos modifican a los otros en un círculo de retroalimentación, hasta que el conjunto de orbitales se colapsa en un solo macroorbital de enlazamiento.

Esto, prácticamente elimina el factor tiempo, ya que los electrones responsables de la reacción química están, a la vez, en toda la extensión de su campo.

Esto podría representarse con el siguiente esquema:



Estado transicional y aceleración de la reacción química.

La suma de haces de fuerza (electrones) representados por sus funciones de onda ( $\psi$ ) en el campo electro-magnético, determina que la enzima y el sustrato adquieran la relación de llave y candado de Fisher.

Visto de otra manera, el incremento de haces de fuerza en el campo de electromagnético equivale a la aglomeración de electrones donde muchos se repelen violentamente, como lo impone el principio de Pauli.

Se amplía así la actividad de los electrones periféricos del sustrato y se acelera la reacción química.

En resumen, se señala:

1.- La actividad enzimática se debe a una conducta peculiar del electrón que le permite estar presente en todos los lugares requeridos para que la reacción se acelere. No existe una explicación química satisfactoria para la magnitud de este fenómeno.

2.- Se entiende que la estructura molecular de la enzima y la manera específica de replegarse tienen una participación fundamental en los fenómenos observados.

3.- No se puede olvidar que la conducta del electrón no puede someterse a las restricciones que imponen nuestras vivencias perceptuales y la lógica del mundo que nos rodea. Recordar las expresiones de Niels Bohr, Heisenberg y Feynman acerca de los conceptos de onda y partícula, desde el punto de vista cuántico. El concepto de partícula cuántica no implica la existencia real de la partícula ni la onda cuántica está constituida por materia alguna. Ambas denominaciones corresponden a conceptos derivados de abstracciones matemáticas y se acepta, más bien, que la partícula es *un haz de fuerza en su campo electromagnético*. Es posible que en los procesos biológicos el electrón, debido a las estructuras macromoleculares y otros aspectos relacionados con las complejidades, adquiera cualidades no previstas. Así se evaden restricciones originadas en observaciones propias de la física prebiótica.

4.- Al tener las ecuaciones de Schrödinger una eficacia inversamente proporcional al número de electrones involucrados en el

sistema estudiado, es fácil apreciar la dificultad insalvable que se encontraría al pretender explicar matemáticamente el proceso enzimático. Quizás los modelos preparados con computadoras proporcionen una ayuda apreciable.

5.- No debe omitirse que los procesos biológicos deben ser incluidos entre las situaciones complejas y que las condiciones dominantes en esas circunstancias, como la retroalimentación en un sistema dinámico, no pueden serle ajenas. Por tanto, no parece objetable ofrecer una analogía que permita representar lo que ocurre en la reacción enzimática, aunque no esté sustentada, experimentalmente, como sería deseable.

Es oportuno reproducir los comentarios que hace Sheldon Glashow con relación a la evolución conceptual que condujo a la unificación electro-débil, como él lo relata en su estimulante obra, "Interactions".

En ella nos dice con respecto a su propia tesis, lo siguiente: No era una gran tesis, pero me permitiría salir de Harvard. Yo no había alcanzado todavía los niveles que me permitieran construir de manera aceptable, una teoría capaz de unificar la interacción nuclear débil y el electromagnetismo. Sin embargo, tenía algunos indicios de que las ideas de Schwinger podían ser correctas.

De todos modos, mi tesis era tan especulativa que la comencé con la siguiente cita de Galileo: *E forse dire che gl'ingeni poetici sieno di due spezie. Alcuni, destri ed atti ad inventar le favole; ed altri, disposti et accomodati a crederle.* Traducido muy libremente, Galileo nos dice que hay dos formas de imaginación poética, la primera corresponde a los que inventan la fábula y la otra a los que están dispuestos a creerla.

En otra parte agrega:

No es raro en física teórica pasar mucho tiempo en nociones especulativas que al final resultan erradas. Eso me ocurre constantemente. Tener una gran cantidad de ideas locas en mi cabeza es el secreto de mi éxito. ¡Algunas de ellas resultan correctas!

Con respecto a la gestación de su teoría de unificación, expone lo siguiente:

"Schwinger creía que la interacción débil y el electromagnetismo eran dos aspectos de un mismo fenómeno. Esto representaba para mí la increíble oportunidad de unificar dos fuerzas fundamentales de la naturaleza que no guardaban relación entre sí. Era un problema que me conduciría a la obtención del Premio Nobel. En esos momentos, sin embargo, muy pocos físicos establecidos creían en las fantasías de Schwinger (yo, desde luego, como un estudiante graduado novicio, no tenía alternativa). Las interacciones débiles, son, en verdad, mucho más débiles que las electromagnéticas. La única explicación implicaba el problema de que el boson W era muy, pero muy pesado: cerca de cien veces más pesado que el protón.

Debido a la inviolabilidad de la conservación de la energía era previsible la dificultad para producir una partícula W en el laboratorio. Para producir un boson W la energía involucrada en la colisión capaz de generarlo debía ser, por lo menos, equivalente a su masa. A principios del 1950, se había logrado producir y observar el antiprotón, cuya masa es cercana a la centésima parte de la partícula W. Eran muy pocas las posibilidades de llegar a ver esta última experimentalmente. No existía, ni remotamente, un acelerador capaz de obtenerla. Las ideas de Schwinger parecían más bien teología medieval que investigación física.

¿Quién podía imaginar que dos décadas después estas partículas de Schwinger serían producidas en el CERN?

Casi todos los físicos de la década del 1950 se negaban a admitir que una partícula con semejante masa pudiera asociarse con el fotón, que carece de ella, en una hipotética síntesis electro-débil. Pero estaban equivocados. Otras objeciones a las ideas de Schwinger procedían del terreno experimental. Si el fotón y la partícula W debían unirse, ambas debían ser bosones vectores. Los datos experimentales existentes en esos momentos, indicaban que eso no era así.

Aparentemente, para que la partícula W existiera debía carecer totalmente de spin. Pero los tres experimentos claves que sostenían ese criterio, habían sido realizados de manera errónea. Solamente por la fascinación que producía la idea de la unificación se podía seguir adelante. Algunas veces (aunque no con demasiada frecuencia) la fe en las propias ideas debe imponerse a la observación.

La prolongada interrupción del tema que nos ocupa, para introducir estas experiencias de Glashow que carecen totalmente de relación con las enzimas, podría ser molesta. Pero he querido justificar, de algún modo, mi atrevimiento al presentar un modelo conceptual de la actividad enzimática sin la base experimental que debe soportarlo.

Reconozco, además, que la actitud de un físico profesional con mentalidad de genio, no puede servir de excusa a la temeridad y la osadía de un amateur para incursionar en un terreno altamente especializado y lleno de dificultades. Pero ocurre que este intruso ha sido, desde siempre, un ferviente enamorado de la física y aunque debería aceptar que ese amor no puede ser correspondido, resulta imposible renunciar a él. Se ha dicho que el amor mueve montañas y, muchas veces, hasta el crimen cometido por amor ha sido juzgado con benevolencia. Por otra parte, después de la opinión que emitiera el Prof. Gino Segré, Chairman del Departamento de Física de la Universidad de Pennsylvania, acerca de mi libro *Quests*, donde expuse las ideas preliminares acerca de este modelo conceptual, me he sentido como el pecador que recibe la absolución con la bendición pontificia.



Pido excusas si falto a la discreción al reproducir algunas de las palabras del Prof. Segré:

"It is extremely pleasing to see an outsider not be frightened with the mathematical difficulties that must be overcome to understand and even to begin to understand, quantum mechanics and the mathematical and the philosophical puzzles it poses.

You have clearly done so very successfully and you have extended it into beginning to think about biochemical problems. It is obvious to me that you have thought long and hard about many of these questions and I have nothing but admiration for your efforts.

... You have to be commended and congratulated for a job well done. ..."

La traducción de esos párrafos dice:

"Es extremadamente grato ver a alguien ajeno a nuestra profesión, no amedrentarse ante las dificultades matemáticas que es necesario vencer para entender y hasta para comenzar a entender la mecánica cuántica y los enigmas filosóficos y matemáticos que ella presenta. Obviamente, Ud. lo ha hecho de manera muy exitosa y lo ha extendido, aun, hasta comenzar a interpretar problemas bioquímicos. Para mí es evidente que ha tenido que pensar largo y duro acerca de esos interrogantes y no siento otra cosa que admiración por sus esfuerzos.

Ud. merece ser elogiado y felicitado por un trabajo bien hecho...

No niego el temor de que esas palabras estén saturadas de benevolencia, pero todo el que hace contacto con el mundo científico, percibe, desde el primer instante, que en ese ambiente no se usa la cortesía en menoscabo de la verdad.

Ahora, para no dejar trunca la historia de Glashow, permítaseme agregar los siguientes detalles según su propio relato:

"En noviembre del 1958 escribí un trabajo y tuve el atrevimiento de predecir que una teoría electro-débil de tipo "gauge" con la masa del boson W, puesta en mis manos, debería ser renormalizable y predije la masa que debía tener ese boson W. Como era de esperar, obtuve un resultado equivocado porque trabajaba con una teoría errónea.

Schwinger había propuesto la idea de unificar el fotón con el boson W que posee carga. Lo cual resultó un craso error.

Yo sabía que para obtener una teoría realista del proceso ésta debía contener, al mismo tiempo, violación de la simetría de paridad y las reglas de "strangeness".\*\* La solución del primer aspecto me tomó un año; el segundo problema me tomó una década...

En la primavera siguiente, (1959) fui invitado a hablar acerca de mi trabajo en el Colegio Imperial de Londres, que ha sido el predio favorito de Abdus Salam, con quien compartiría el Premio Nobel, veinte años después. Entonces, como ahora, Salam tenía la apariencia de un potentado oriental educado en Cambridge y con el don de hablar un inglés perfecto.

Quiero añadir que como buen musulmán, nunca ha fumado ni ha ingerido alcohol.

Explicué los progresos que había alcanzado en la síntesis electro-débil y porqué creía que la teoría era renormalizable. Fui recibido con cortesía, pero con la frialdad habitual de los ingleses.

Unos meses después, Salam y su grupo publicaron un trabajo en el que calificaban mis argumentos de irremediamente tontos y absolutamente errados. ¡Qué clase de estúpido era yo!

No recibí ningún consuelo de mis amigos en el instituto; no hubo la menor reacción. ¡A nadie le importaba el trabajo que yo hacía!

En 1959, en un curso de verano celebrado en Cuomo, Italia, el tema era la interacción débil y nadie mencionó mi adorado vector (boson) intermediario".

---

\*Una idea simplificada de este término sería la redefinición de un hecho conocido que permite obtener una información diferente sin alterar el contenido del hecho inicial.

\*\*Strangeness, es un conjunto de propiedades que poseen algunas partículas entre las cuales se incluye una desintegración muy lenta con relación al tiempo en que lo hacen las otras partículas.

"Al demostrar Chen Ning Yang y Tsung Dao Lee, en ese momento, la no conservación de paridad, se transformó, súbitamente, el panorama de la física.

Todo se estremecía, pero yo tenía que terminar mi tesis. Aprendí a no morder más de lo que se puede masticar.

Simplemente, no se pueden resolver todos los problemas de la física de un solo golpe. Es mejor bajar las persianas y dejar que otros más capaces se ocupen de los problemas más difíciles.

Mi segundo trabajo acerca de este tema, se basó en los estudios que había realizado en el CERN y en Copenhague. Puse a un lado el problema de la renormalización, para evitarme muchas dificultades, y enfoqué, sobre todo, lo que denominé: "simetría parcial" con la pretensión de que la interacción débil y el electro-magnetismo debían ser relacionados tanto como fuera posible."

Como conclusión de este episodio, sólo debo añadir que, finalmente, Glashow logró su objetivo y obtuvo el Premio Nobel en 1979.

Volvamos, ahora, a la actividad enzimática.

Para explicar algunos de sus aspectos más interesantes, propongo un mecanismo de retroalimentación que amplía la función de onda de los electrones organizados en centro activo de la enzima. Esa reacción está condicionada por la disposición específica que adquieren los átomos en el interior de la estructura macromolecular de las proteínas y los ácidos nucleicos, reafirmada cuando se produce el repliegue sobre sí misma que adquieren algunas moléculas.

La función de onda (intensidad) se incrementa por la resonancia que se produce al vibrar armónicamente toda la molécula en el campo electromagnético en que se encuentra. Una analogía útil nos la ofrece el acto de blandir una cuerda determinada en una guitarra colocada a distancia apropiada de otro instrumento similar. En es-

te segundo instrumento (que aquí incluiría, además, a los electrones periféricos del sustrato), la cuerda correspondiente a la que fue pulsada, entra en actividad kinética y vibra armónicamente.

La vibración colectiva en un mismo campo electromagnético, de los electrones pertenecientes a dos estructuras moleculares específicamente afines, como son la enzima (centro activo) y el sustrato, presenta varios aspectos importantes.

Se instala un mecanismo de retroalimentación conducente a la ampliación de las funciones de onda de los electrones que llegan a ocupar toda la extensión de su campo. Pues se colapsan las funciones de onda en un macro-orbital de enlace que, prácticamente, elimina el factor tiempo en la reacción química.

Algunos electrones, como consecuencia del *principio de exclusión de Pauli*, serán repelidos, con lo cual se aumenta su actividad kinética y por tanto su actividad química.

Se postula, que estos acontecimientos pertenecientes a la mecánica cuántica y que por tanto escapan de lo puramente químico, deben ocurrir en el maravilloso proceso bioquímico gobernado por las enzimas.

La conducta del electrón, en estos casos, difiere en muchos aspectos de lo que habitualmente se observa en los laboratorios físicos y no podemos pretender, tampoco, que todo sea explicable dentro de las restricciones que nos imponen nuestros mecanismos perceptuales.

Aquí convergen los hechos anti-intuitivos propios de la mecánica cuántica y los derivados de las situaciones complejas, representadas por las características de las macromoléculas proteínicas y de los ácidos nucleicos.

Las condiciones intramoleculares rigen la conducta de los electrones y la invariabilidad de la configuración molecular resultante del repliegue es imprescindible para la especificidad de la actividad enzimática.

Esta actividad se verá limitada por múltiples factores variables. Los protones libres tratados como partículas, cuando representan el pH, constituyen un número reducido pero de masa 2000 veces mayor que el electrón, mientras que, considerados como ondas, pueden interferir con las ondas de los electrones que participan en el proceso. Esta interferencia puede ser expresada por un factor de  $\sqrt{2}$  según el teorema de Fourier.

Por otra parte, al pasar los límites de expansión de un átomo de hidrógeno por el aumento de amplitud de la onda de su electrón, estos se desprenden y liberan un protón que tiene particular significado en el ambiente de la actividad enzimática.

Si sabemos, exactamente la localización de una partícula, su función de onda será conspicua en ese lugar y cero (0) en cualquier otra parte. Pero tal función de onda puede ser recreada si se añade un elevado número de funciones armónicas (senos y cosenos) o, lo que es equivalente, un número de funciones  $e^{iks}$ .

En otras palabras: Podemos recrear una función de onda bien definida, mediante la superposición de funciones de onda correspondientes a diferentes momentos lineales.

La superposición de unas cuantas funciones armónicas nos da una función de onda de base ancha y difusa pero si el número aumenta, la función de onda se hace cada vez más aguda y bien definida por las interferencias entre las regiones positivas y negativas de sus componentes.

En el caso de un número infinito de componentes, la función de onda es representada por una aguja infinitamente estrecha que representa la localización de la partícula.

Esa información se obtiene a expensas de ignorar todo lo concerniente al momento de la partícula. Pero, contrariamente, en el caso de superposición de funciones de ondas armónicas, con la misma frecuencia, en fase cuyo momento es orientado de la enzima al substrato, el hecho de conocer la tendencia del momento amplía la incertidumbre con respecto a la localización de la partícula y, por consiguiente, se amplía la posibilidad de hallarla en cualquier lugar de su campo de acción.

Además, como se ha explicado, el aumento de amplitud ( $\psi^2$ ) representa la expansión del átomo".

Gran parte de lo dicho es, en resumen, consecuencia ineludible del principio de incertidumbre de Heisenberg y es posible representar estas ideas con las siguientes ecuaciones:

$$\psi^*\psi = (Ae^{ikx}) * (Ae^{-ikx}) = A^2(e^{-ikx}) (e^{ikx}) = A^2$$

$A^2$  es una constante y representa una densidad de probabilidad independiente de  $x$ .

En resumen, ese increíble electrón que ya hemos descrito como una entidad matemática indivisible, al ser considerado como onda y de acuerdo con la dualidad onda-partícula que impone la mecánica cuántica poseerá, necesariamente, frecuencia, amplitud, intensidad, longitud y su correspondiente función de onda, tantas veces mencionada.

Desde el punto de vista puramente físico, todos los electrones se consideran idénticos y son muchas las pruebas que confirman este criterio. La imagen que se obtiene en la pantalla de televisión, por ejemplo, no podría producirse si los electrones no se comportaran físicamente de una misma manera.

Sin embargo, eso no niega la posibilidad de que las condiciones que impone la estructura molecular de la enzima además de inducir un mecanismo de retroalimentación provoquen importantes cambios en la conducta del electrón. Esos cambios no son demostrables en el ambiente de laboratorio cuando se hacen observaciones puramente físicas, pero se acompañan de marcados efectos biológicos ya que dependen, exclusivamente, de las peculiares características que poseen las macromoléculas de las proteínas y de los ácidos nucleicos.

La complejidad es indispensable para que los efectos de diferencias ondulatorias infinitesimales puedan ser amplificados, hasta crear la fenomenología propia de la materia viva.

La enzima representa un verdadero ciclotrón biológico que amplifica la función de onda del electrón.

Un modelo conceptual de este tipo permite explicar:

1. La extraordinaria aceleración de una reacción química por la presencia puramente física de la enzima.
2. La inalterabilidad de la enzima en el proceso, que sólo admite cambios químicos transitorios como se ve que ocurre con la serina en la hidrólisis de la colinesterasa.
3. La estabilidad de la energía en el sistema a pesar de la enorme aceleración de la reacción química, *porque la onda cuántica es una onda vacía que sólo representa probabilidad.*
4. La especificidad de la actividad enzimática, porque se debe a la resonancia armónica de electrones dispuestos en una configuración espacial propia de la estructura molecular de la enzima que condiciona su función de onda.
5. El modelo nos ofrece, además, afinidad teórica con el mecanismo de la llave y el candado de Fischer.

Ahora bien, no es posible ignorar, en estos momentos, la situación crítica en que se encuentra el pensamiento científico.



Se ha hecho evidente, que las concepciones físicas y las bases de sustentación que les han proporcionado las matemáticas representan un mundo idealizado, simplificado, ordenado y condicionado por el funcionamiento del privilegiado cerebro que posee el Homo sapiens.

Hasta estos momentos el hombre había proyectado una imagen idealizada de la Naturaleza, regida por un orden. Genios como Einstein y Dirac, le dieron prioridad a un sentido estético dependiente de la nitidez y la simplicidad que deben conservar los procedimientos lógicos y las ecuaciones matemáticas. Las irregularidades, con resultados impredecibles y carentes de las condiciones requeridas habían sido totalmente despreciadas.

Se veían, simplemente, como condiciones indeseables.

Pero es obvio que los objetos naturales muestran, frecuentemente, esas mismas características. El aspecto ordenado de nuestros conocimientos científicos, representa un pequeño invernadero cultivado con ecuaciones lineales en el mundo tridimensional de nuestros mecanismos intelectuales, mientras predominan, en él, las situaciones complejas y caóticas ajenas al concepto de orden nacido de la ciencia.

Con Euclides, Descartes y Newton la evolución del pensamiento siguió una trayectoria que condujo al determinismo.

El hombre llegó a creer que los acontecimientos observables en su universo eran ordenados y teóricamente predecibles.

Las ecuaciones que sostenían a esas ideas eran lineales.

Un sistema lineal se reconoce porque las relaciones de causa a efecto son proporcionales. Una banda elástica nos ofrece con su conducta, un buen ejemplo. Si se extiende a determinada longitud cuando la sometemos a una fuerza de tracción conocida, al duplicar esta fuerza se extenderá al doble de la longitud obtenida previamente.

Esto establece una relación lineal porque puede representarse gráficamente con una línea recta, la cual puede expresarse mediante la ecuación:  $y=ax+b$ , donde  $y$  es el largo de la banda elástica,  $x$  es la fuerza mientras  $a$  y  $b$  son constantes.

Si la banda se extiende demasiado, pierde su elasticidad y desaparece la proporcionalidad entre la fuerza aplicada y la extensión obtenida. En este caso el sistema se convierte en no lineal.

Puede agregarse que en un sistema lineal, el todo es igual a la suma de las partes. Lo que deja de cumplirse en los no lineales.

Con la introducción de la teoría especial de la relatividad y de la mecánica cuántica se abolió el determinismo.

Es justo mencionar que, previamente, el sabio francés Henri Poincaré, verdadero precursor del estudio del caos, había previsto el derrumbe del sistema newtoniano. Pero atemorizado por las consecuencias de sus observaciones no quiso aventurarse por aquellos caminos que, recorrieron, después, Einstein, Bohr, Heisenberg y otros, hasta plasmar sus mencionadas innovaciones teóricas.

Sin embargo, a excepción de la teoría general de la relatividad, donde aparecen conceptos fundamentales sostenidos por ecuaciones no lineales, las mencionadas teorías (relatividad especial y QED), están sustentadas, a su vez, por ecuaciones lineales.

Pero, eso no tuvo las inquietantes consecuencias que vemos hoy en el ambiente científico, nacidas e incrementadas con el estudio de las situaciones complejas y caóticas, donde se requiere la ayuda de la computadora porque rigen las ecuaciones no lineales

Es interesante señalar que la teoría de la relatividad y la mecánica cuántica postularon nuevas leyes físicas que aún son valederas, mientras, por su parte, los trabajos teóricos acerca del caos no han propuesto ninguna ley. Más bien, se han limitado a examinar las ya existentes.

Eso no obstante, han iluminado con brillo inesperado los horizontes del mundo físico y han penetrado a mayores profundidades conceptuales. Una de sus contribuciones más importantes ha sido la comprobación de que el caos emerge de las mismas ecuaciones deterministas.

Aunque no existe una definición satisfactoria de lo que es complejidad, la emergencia de nuevos atributos de adaptación que caracteriza al evolucionismo y los mecanismos de información implícitos en el código genético, son credenciales más que suficientes para incluir la vida entre los procesos complejos.

Por tanto, tiene cabida la siguiente pregunta: ¿Hasta dónde este nuevo aspecto de la ciencia, podrá influir en nuestros futuros conocimientos acerca de los procesos vitales?

En el próximo capítulo, que será intitulado "La Vida", se incluirán algunos aspectos históricos y nuevos conceptos derivados de esos interesantes estudios.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

Atkins, P.W. Physical Chemistry.  
W.H. Freeman. 1986

Crick, Francis. Life Itself.  
Simon & Schuster. 1981.

Davies, Paul. The Cosmic Blueprint  
Simon & Schuster. 1988

Dressler, David and Potter, Hutington. Discovering Enzymes.  
Scientific American Library. 1991.

Edelman, Gerald M. Bright Air, Brilliant Fire.  
Harper Collins Publishers. 1992.

Feinberg, Gerald. Solid Clues.  
Simon & Schuster. 1985.

Feynman, Richard. QED  
Princeton University Press. 1985.

French, A. and Kennedy, P. J.  
"Niels Bohr, A Centenary Volume."  
Harvard University Press. 1985.

Gamow, George. Thirty Years That Shook Physics.  
Doubleday & Company. 1966.

Glashow, Sheldon and Ben Bova. Interactions  
Warner Books. 1988.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

Heisenberg, Werner. Physics and Beyond.  
Harper Torchbooks. 1972.

Heisenberg, Werner. Physics and Philosophy.  
Harper Torchbooks. 1962

Hoffmann, Banesh. Albert Einstein, Creator and Rebel.  
New American Library. 1972.

Iñiguez, Pablo. Quests.  
Amigo del Hogar. 1988.

Jencks, William P. Catalysis in Chemistry and Enzymology.  
Dover. 1975.

McNamee, Maurice. Essays in Exposition.  
Holt, Rinehart and Winston. 1968.

Pagels, Heinz R. The Dreams of Reason.  
Simon & Schuster. 1989

Pais, Abraham. Niels Bohr's Times.  
Oxford University Press. 1991.

Ponomarev, L.I.  
The Quantum Dice.  
Institute of Physics Publishing. 1993.

Scientific American  
Nov. 1986.

## LA VIDA

### EVOLUCION HISTORICA DE SU SIGNIFICADO

Existe una gran diferencia entre las ideas que tenían los antiguos filósofos griegos acerca del universo y nuestras actuales concepciones. Su macrocosmos se limitaba a la esfera de las "distantes" estrellas fijas y nunca podían haber imaginado la existencia de millones de galaxias ni las inconcebibles distancias que las separan. La idea del átomo introducida por Leucipo y Demócrito puede aceptarse como la representación de su microcosmos. Demócrito, aunque llegó a describir lo que él llamó "Amora," cuyas características ofrecen una sorprendente similitud con los quarks de nuestros días, nunca pudo soñar con el mundo subatómico que hoy estudian teórica y experimentalmente los físicos nucleares. En cambio, ante la pregunta: ¿Qué es la vida?, la posición de los griegos y la nuestra conservan, todavía, muchas similitudes y una alta dosis común de ignorancia. Con excepción de la microbiología, ellos conocían, prácticamente, los mismos fenómenos vitales que contemplamos a diario, aunque, desde luego, hemos acumulado una apreciable cantidad de conocimientos y es evidente que existe una gran distancia entre las enseñanzas de Aristóteles y las brillantes aportaciones de Schrödinger, Crick y Watson (por mencionar unos ejemplos).

La situación, empero, nos hace recordar la incisiva aunque injusta expresión de Heráclito en alusión a los eleáticos: "El mucho conocimiento no implica entendimiento."

Vemos, entonces, que a pesar de todo lo aprendido tenemos que recorrer, todavía, distancias siderales para llegar a entender lo esencial acerca de la vida.

A otras preguntas ya formuladas, podemos agregar éstas:

¿Existe una definición satisfactoria de la vida?

¿Qué características diferencian a la vida del resto de la Creación?

¿Cómo se desarrolla la morfología?

¿Qué propósito tiene la vida?

¿Qué representa el hombre en el universo?

¿Es necesario incluir la metafísica para explicar los fenómenos vitales?

¿Son la inteligencia, la conciencia y el sentimiento simples instrumentos útiles para nuestra supervivencia o es que esas prerrogativas del hombre tienen el objetivo final de acercarnos a Dios?

Podríamos, sin la menor dificultad, añadir otros interrogantes dignos de ser incluidos en la lista.

La creencia de que la vida no puede ser explicada por las leyes físicas y que, por tanto, requiere un ingrediente metafísico, dio lugar al "vitalismo", introducido a principios de este siglo por el embriólogo y filósofo alemán, Hans Eduard Dreish. Se incluía la existencia de un componente extraordinario denominado "fuerza vital", capaz de poner en marcha los sistemas biológicos y de explicar las propiedades especiales de la vida. Ya se ha visto, que esta manera de pensar tuvo adeptos tan brillantes como Louis Pasteur.



Pero esta pretensión de revivir los preceptos animistas de Aristóteles distaba mucho del verdadero pensamiento que legara el gran maestro de Estagira.

Dreish postuló la existencia de un factor causal al que llamó "entelequia" (del griego telos=fin), origen de la palabra "teleología" modernamente substituída por "teleonomía".

La entelequia implicaba la existencia, *a priori*, de un objetivo detallado que debía ser alcanzado por el organismo vivo. Se pretendía que el desarrollo del embrión estuviera guiado por la entelequia desde el huevo, como si se copiara un plano o una maqueta preconcebida, de lo que debía ser el individuo como producto terminado. Aun la conducta y los propósitos de las actuaciones de un sujeto debían estar incluidos en la entelequia.

Ese esquema nunca fue aceptado, y desde el punto de vista científico, puede considerarse más digno de olvido que de mención. Pero ha sido incluido para señalar los cambios de orientación del pensamiento en las últimas décadas.

El término, teleonomía, tiene vigencia en las discusiones filosóficas acerca de la biología, pero todavía la intencionalidad implícita en la teleología se deja sentir ocasionalmente, quizás, sin el deseo consciente de los expositores. El análisis que de esta situación hace Ernst Mayr en su obra "Toward a New Philosophy of Biology", es particularmente instructivo.

En oposición directa al vitalismo, se pretendió explicar la vida mediante el "mecanicismo" que fue relacionado con Demócrito como contrapartida a la asociación del vitalismo con Aristóteles.

Uno de sus grandes propulsores fue René Descartes. Modernamente, Schrödinger, junto a los entusiastas de la biología molecular, han mantenido el estandarte.

Según esta concepción, los organismos vivos representan máquinas complejas que obedecen a las leyes naturales mediante la aplicación de fuerzas físicas comunes.

A su vez, el "Reduccionismo", que será el tema del próximo capítulo, pretende llegar a conocer la esencia de la vida mediante el estudio de las estructuras moleculares y del comportamiento de sus partículas. Casi todos los investigadores modernos en esta rama de las ciencias son mecanicistas y nadie puede negar que si algún progreso ha sido alcanzado en el estudio de la biología y de la fisiología, gran parte del mérito le corresponde a este enfoque filosófico. La influencia de las ideas mecanicistas es tan notoria que, aun admitiendo las limitaciones actuales de las ciencias físicas para explicar cabalmente la esencia de la vida, en nuestra actitud de cada día reaccionamos, por lo general, de manera cartesiana.

Sabemos que la explicación de la vida no cabe en las actuales fronteras de la física. Pero al aceptar que el estado actual de la física no permite explicar la esencia de la vida no hay que admitir, necesariamente, la inclusión de ningún componente sobrenatural. Más bien, se considera la posibilidad de que, eventualmente, se introduzcan y se confirmen nuevas concepciones, con alcances que no podemos predecir, pero que no estarán en contradicción con las leyes físicas que rigen el universo.

## EL BIOCOSMOS.

Existen notables diferencias entre el mundo físico prebiótico, y el correspondiente a la materia viva, que he denominado, "El Biocosmos."

1.- Como consecuencia directa de la *teoría especial de la relatividad*, el universo prebiótico aparece enmarcado en el continuo espaciotiempo de Minkowski; mientras que, por otra parte, la evolución del cerebro humano ha sido capaz de brindarnos una percepción témporoespacial que agrega el tiempo a la tridimensionalidad de nuestra orientación antrópica.

2.- En el mundo prebiótico, el elemento representativo de los objetos existentes es el átomo, aunque, de hecho, éste ha perdido ya, su significado etimológico, a excepción de lo que concierne a los elementos químicos. Esto es así, porque si se divide el átomo de un elemento químico, éste desaparece, pero al mismo tiempo, conocemos la existencia de una extensa variedad de partículas subatómicas entre las cuales, se aceptan como elementales, los quarks y los leptones con sus correspondientes antipartículas. En el biocosmos, en cambio, la entidad fundamental, aunque no sea elemental, es la molécula, y ella rige la conducta de los átomos que la componen.

3.-Según las concepciones teóricas actuales, debido a rupturas sucesivas de la simetría original del universo, ocurrida en fracciones infinitesimales de tiempo después de producirse el Big Bang, surgieron las diferentes interacciones físicas que veremos a continuación.

## LAS INTERACCIONES FISICAS.

- 1.-La Gravedad.
- 2.-La Interacción Nuclear Fuerte.
- 3.-La Interacción Nuclear Débil.
- 4.-La Interacción Electromagnética.

Cada una de estas interacciones se comporta de manera muy diferente en lo que respecta al biocosmos. Los procesos biológicos tienen su origen en la interacción electromagnética y la partícula cuántica responsable de la vida, es el electrón. La gravedad interviene, sin duda, en la evolución de las diferentes formas de vida, mientras las interacciones nucleares no participan intrínsecamente en los procesos vitales. Sin embargo, siendo la luz una manifestación de la interacción electromagnética, llama la atención que su velocidad no tenga utilidad como parámetro en los acontecimientos biológicos aunque sea determinante en la interpretación de los fenómenos físicos prebióticos. Todo movimiento derivado del biocosmos se caracteriza por ser extremadamente lento si se compara con la velocidad de la luz. Por eso, la realidad del mundo físico que nos ha enseñado la teoría de la relatividad, había pasado inadvertida hasta principios de este siglo.

4.-Otro hecho digno de mención, al comparar el mundo físico prebiótico con el biocosmos, es la tendencia evolutiva del ente biológico hacia estructuras con organizaciones cada vez más complejas, de donde emergen nuevos atributos que no existían en los estados precedentes.

La vida marcha hacia un orden y una organización que, transitoriamente, parecen oponerse al designio que la termodinámica le ha impuesto al universo; esto es, llegar a un estado de máxima entropía.

En el universo prebiótico hay situaciones que pueden ser atribuidas a tendencias evolutivas. Es fácil señalar ejemplos relacionados con las interacciones nucleares y la electromagnética, pero hay una notable diferencia entre estos casos y el Evolucionismo.

La degradación del núcleo mediante la radioactividad que gobierna la interacción nuclear débil, marcha, sin variabilidad, en sentido decreciente y sigue un proceso que puede extenderse por milenios.

Las diferentes fases observables en la evolución de una estrella, dependientes de la fusión nuclear, siguen una trayectoria ascendente, en cuanto a la complejidad de los núcleos progresivamente sintetizados, y al igual que en el ejemplo anterior, en este proceso es prácticamente inadmisibles, la introducción de variaciones imprevistas.

En la interacción electromagnética la tendencia evolutiva adquiere nuevas dimensiones. La actividad del electrón provoca intercambios entre los átomos que comparten el mismo campo, con lo cual surgen importantes variaciones circunstanciales.

Aunque en ese proceso predomina la orientación ascendente hacia la complejidad, pueden suceder desviaciones hacia otra dirección provocadas por influencias ambientales. Los elementos químicos, a excepción de los gases nobles (argón, helio, neón, xenón, etc.), poseen una marcada tendencia a asociarse para formar moléculas y la aparición de la molécula implica el desarrollo de una organización más compleja.

Con esa complejidad surgen nuevos atributos que no poseían los átomos aislados y su auto-organización ulterior es uno de los mecanismos conducentes a la aparición de los fenómenos biológicos.

Aunque se aleje de la comparación entre las tendencias evolutivas de las diferentes interacciones físicas y el biocosmos, deseo abrir un paréntesis para presentar un interesante ejemplo de asociaciones de átomos para formar moléculas con nuevos atributos.

En 1985, Richard E. Smalley, de la Rice University, (Houston, Texas), Harold W. Kroto, de la Universidad de Sussex, (Brighton, G.B.) y otros colaboradores, estudiaban las posibles relaciones entre ciertos conjuntos arracimados de átomos de carbono y la constitución del polvo interestelar. Mediante el bombardeo de placas de grafito con rayos laser lograron obtener abundantes moléculas formadas con 60 átomos de carbono ( $C_{60}$ ). En esas moléculas los átomos se unen en forma de una jaula esférica constituida por 12 caras pentagonales y 20 caras hexagonales, con lo cual obtienen un aspecto muy similar a la superficie de una pelota de balompié.

Esta configuración viene a representar, prácticamente, una tercera variedad de cristalización de los átomos de carbono junto al grafito y al diamante. Se la bautizó con el nombre de "Buckminsterfullerene," por su parecido con los domos geodésicos introducidos por el arquitecto Buckminster Fuller; pero luego, para evitar el trabalgua, se abrevió como "Buckyball." Entre los aspectos interesantes de estas configuraciones atómicas hay que mencionar su capacidad de convertirse en superconductores de la electricidad a temperaturas bastante superiores al cero absoluto, por lo cual tienen importantes

aplicaciones tecnológicas e industriales. A mediados de julio del año 1993, se reportó en el Journal of the American Chemical Society, que estas moléculas eran capaces de bloquear la actividad de proteasas indispensables para la reproducción del virus causante de la inmunodeficiencia humana adquirida (SIDA). Cierro el paréntesis.

La tendencia evolutiva de la interacción electromagnética se acerca mucho a la que ostenta el biocosmos que, a final de cuentas, es una consecuencia de la actividad del electrón.

El Evolucionismo biológico se ve también frecuentemente influenciado por variaciones no necesariamente programadas y que, por tanto, son impredecibles. Esta no es la regla durante los procesos evolutivos observados en las interacciones nucleares.

5.-Uno de los procedimientos más importantes para evaluar una teoría en el mundo de las ciencias físicas, propiamente dichas, es la capacidad de hacer predicciones comprobables. Sin embargo, por las razones que acaban de exponerse ésta es una condición prácticamente vedada al investigador en el campo biológico donde las complejidades propician acontecimientos aparentemente influidos por el azar.

Esto contribuye, necesariamente, a explicar porqué ha sido tan difícil el progreso en el conocimiento de la vida y porqué se ha querido negarle a la biología la condición de ciencia con estatus equivalente al de la física.

Algunos con actitud "indulgente" la colocaron en una posición intermedia entre la física y las humanidades

Aunque parecían insalvables las distancias que por mucho tiempo separaron a la física de la biología, hoy tienden a reducirse y se

ha querido, además, establecer puentes de comunicación entre ambos territorios. Es un hecho halagador que algunos físicos renombrados, al apreciar las nuevas posibilidades metodológicas y las futuras proyecciones de la biología, han preferido penetrar en esos terrenos otrora menospreciados por los autoelegidos aristócratas de la ciencia. Un primer grupo le dio impulso a la biología molecular con valiosas aportaciones y hoy encontramos en el estudio de las complejidades un área nueva de interés común para diferentes ramas del conocimiento, entre las cuales no puede faltar la física.

La inclinación a considerar la biología como una ciencia autónoma, que no cabe en la física, se ha incrementado notoriamente, pero sin regresar al vitalísimo y sin necesidad de recursos metafísicos.

Es curioso, sin embargo, y esto debe reiterarse, que mientras se insiste en mantener parámetros estrictamente delimitados por el rigor de la física, todavía, muchos investigadores expresan, (quizás inconscientemente) ideas que delatan reminiscencias teleológicas.

Modernamente, como ya fue advertido, el término teleológico ha sido substituído por "teleonómico" y, según Mayr, éste *"debe restringirse, estrictamente, a los sistemas que operan basados en un programa con un código de información."* Por ese camino se llega a la conclusión de que el programa de información transmitido por el código genético no está orientado hacia una meta distante y anticipadamente concebida, como pretendiera la teleología, sino que permite la selección de las condiciones que ofrecen mayor adaptabilidad a las situaciones ambientales, mayores posibilidades de supervivencia y, por consiguiente, mayor capacidad de procreación.



*La oportunidad de ser selectivo para lograr una mejor adaptación, puede conducir, sin embargo, a una engañosa apariencia teleológica.* En esto se basa, esencialmente, el Evolucionismo, cuyos efectos se manifiestan desde el mismo momento en que aparece la vida, y al referirnos a esa grandiosa obra de Darwin, como una de las más valiosas en el estudio de todas las ciencias surge, imperativamente, la gran pregunta: ¿Cómo comenzó la vida?

#### ORIGEN DE LA VIDA

La hipótesis más socorrida es la del caldo propiciatorio representado por los mares sometidos a las descargas eléctricas de una atmósfera hiperactiva.

El famoso experimento de Stanley Miller y Harold Urey, realizado en la Universidad de Chicago, en 1952, merece ser mencionado. Ellos tomaron una mezcla de sulfuro de hidrógeno, metano y gases de amonio (substancias cuya presencia ha sido demostrada en Júpiter y otros lugares del sistema solar) junto con agua hirviendo, y pasaron una descarga eléctrica equivalente a las que ocurren en la atmósfera. Poco tiempo después, apareció un líquido marrón rojizo, de aspecto alquitranado, en el cual pudo comprobarse la presencia de diversos compuestos orgánicos, incluyendo aminoácidos, que como ya se ha dicho, son importantes para la vida.

Aunque esos compuestos orgánicos son extraordinariamente simples si se comparan con el ADN y las moléculas de proteínas, los resultados del experimento fueron excitantes. Carl Sagan lo repitió durante algún tiempo en su laboratorio de la Universidad de Cornell,

como un crudo intento para simular las condiciones que, probablemente, existían en la tierra hace 4,000 millones de años, cuando aparecieron las primeras señales de vida. Es interesante señalar que en esos momentos no existía oxígeno libre en la atmósfera terrestre y, en cambio, todavía se encontraba el hidrógeno. El oxígeno se acumuló en la atmósfera después que las plantas con clorofila cubrieron la superficie del planeta. Sin embargo, no debe perderse de vista que el misterio del origen de la vida sigue vigente como una de las principales incógnitas que desafían a nuestro intelecto. La aparición de sustancias orgánicas en determinadas circunstancias, de ninguna manera prueba que de ese modo se inició la vida. Aun en los espacios interestelares se ha comprobado la existencia de moléculas orgánicas sin que eso tenga ningún significado biogénico.

Sin embargo, aunque sólo fuere como curiosidad histórica, quizás se justifique mencionar la teoría de la "*Panspermia*". Este término puede traducirse como "Semillas en todas partes" y representa una idea introducida por el famoso físico sueco Svante Arrhenius (1859-1927) quien además de niño prodigio se distinguió por sus múltiples e importantes contribuciones científicas, en física, matemáticas y química que culminaron con la obtención del Premio Nobel de la última, en el año 1903. Al igual que Newton, era, en sentido general, insensible a las artes, a la literatura y a las humanidades, pero en 1908, mostró interés por la biología e introdujo en una obra intitulada "*Worlds in the Making*", la idea de que la vida había llegado a la Tierra en forma de bacterias, procedentes del espacio interestelar, donde eran impulsadas por presión de la luz.

En noviembre del 1983, Sir Fred Hoyle y el físico hindú Chandra Wickramasinghe, presentaron en una convención de la Royal Astronomic Society, en Londres, un trabajo que pretendía renovar la hipótesis de la panspermia.

Más recientemente, Francis Crick, escribió junto con Leslie Orgel, en la revista de temas espaciales, "Icarus", editada por Carl Sagan, una historia en la cual los organismos vivos habían llegado a la tierra en una nave no tripulada enviada por una civilización muy avanzada que debió existir en algún lugar hace miles de millones de años. Bautizaron su idea con el nombre de "Directed Panspermia".

Mi único comentario al respecto se limitaría a señalar que aun en el caso de ser cierto, eso no ofrecería una explicación de cómo surgió la vida, sino que, simplemente, estaríamos desplazando el problema en el espacio y en el tiempo.

Mientras tanto, se acepta que la aparición de la vida ocurrió una sola vez y que, desde entonces, la tendencia evolutiva del proceso hacia formas cada vez más complicadas y eficientes no se ha detenido jamás. Hasta las modalidades de vida más sencillas constituyen sistemas extremadamente complicados.

Pensar en la organización estructural del ADN nos deja fascinados y se nos hace cuesta arriba imaginar la emergencia de la primera molécula de un ácido nucleico, ADN o ARN, como un hecho fortuito.

A este respecto, puede decirse que estamos viviendo un período de innegable trascendencia con respecto a la orientación y la jerarquización de nuestros conocimientos.

### LA VIDA, LAS COMPLEJIDADES Y LAS SITUACIONES CAOTICAS.

Los cimientos de las concepciones científicas y filosóficas propias de nuestra civilización occidental han sido estremecidos, recientemente, por profundos cambios en la orientación y la jerarquización de nuestras disciplinas académicas:

Al igual que los antiguos pensadores griegos, los matemáticos teóricos de hoy menospreciaban y condenaban, hasta hace poco, el uso de cualquier instrumento para resolver los problemas que ofrecen sus abstractas disciplinas. Para ellos, solamente el pensamiento puro podía producir resultados legítimos; pero se han visto obligados a reconocer algunos hechos que, a primera vista, parecen desconcertantes. Las actuales computadoras son especies derivadas de un proceso evolucionista que incluye denominaciones tan ambiciosas como "inteligencia artificial" y, más recientemente, "vida artificial." En 1946, surgió un monstruo mecánico que recibió el nombre de ENIAC (acronimia, en inglés, correspondiente a "Electronic Numerical Integrator and Calculator"), como si fuera un dinosaurio prehistórico, pero de sangre hirviente. Era tan voluminoso que su instalación ocupaba un amplio espacio, y emitía tanto calor que requería un potente equipo de refrigeración para proteger las partes sensibles de su estructura y hacer la temperatura soportable para los técnicos encargados de su manejo. Este engendro apareció en la faz de la tierra como producto de los esfuerzos bélicos anglosajones durante la Segunda Guerra Mundial que permitieron descifrar los mensajes transmitidos con el código secreto de los alemanes. Pero mientras el Evolucionismo biológico ha necesitado miles

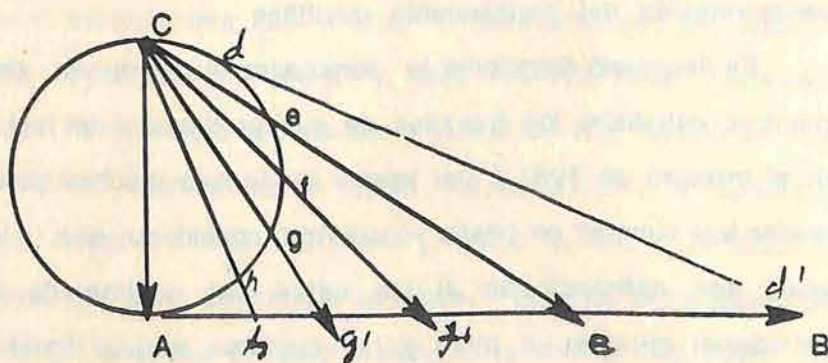
de millones de años para alcanzar el desarrollo de las especies que hoy pueblan el planeta, la velocidad con que ha progresado la tecnología moderna es asombrosa. Las nuevas computadoras han permitido explorar algunos terrenos donde la física y las matemáticas no habían podido penetrar. Han favorecido el estudio de las complejidades y de las situaciones caóticas, y han ampliado considerablemente los horizontes de disciplinas como la biología, la economía, la sociología, etc.

James Gleick publicó en 1988 su reveladora obra "Chaos, Making a New Science" y describió en ella episodios fascinantes en las vidas de Eduard Lorenz, John von Neuman, Benoit Mandelbrot, Mitchell Feigenbaum y otros, cuyos aportes contribuyeron a la transformación del pensamiento científico.

Es necesario mencionar la sorprendente experiencia de Lorenz, mientras estudiaba los trazados de sus programas de meteorología en el invierno de 1961. Del mismo modo que muchas personas al revisar sus cuentas en pesos y centavos, consideran que, los resultados son satisfactorios si las cifras por encima de 0.50 se consideran igual a un peso y las menores a 0.50 igual a cero, Lorenz tuvo la idea de que una diferencia de milésimas no debía ser significativa. Consecuentemente, después de haber obtenido las curvas correspondientes a tres de sus ecuaciones no lineales y para abreviar el trabajo que hacía en esos momentos, suprimió los últimos tres dígitos, esto es, en vez de marcar 0.506127 usó solamente 0.506; y lo procesó una segunda vez. Fue a tomar un refrigerio, y cuando regresó, pudo observar en los trazados obtenidos

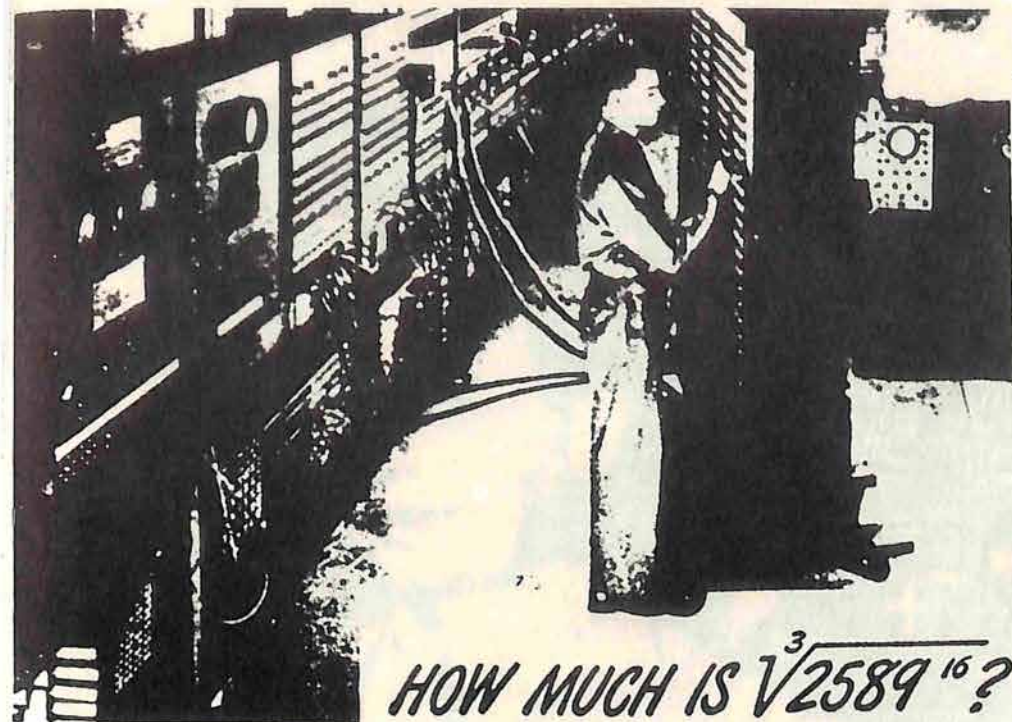
una enorme discrepancia con las curvas iniciales. Pensó que, como en otras ocasiones, se había producido algún desperfecto en el equipo, pero al verificar que todo estaba bien, pudo proyectar las consecuencias de lo ocurrido en las variantes meteorológicas. Aunque las cifras totales y las recortadas por Lorenz contenían diferencias aparentemente insignificantes, al ser ambas procesadas por la computadora como *cifras iniciales*, las diferencias se habían multiplicado de manera desconcertante.

La extrema sensibilidad a los datos iniciales, es la señal que caracteriza al "caos determinístico", que Lorenz acababa de descubrir. Este mecanismo puede ser representado mediante el sencillo esquema gráfico que se ofrece a continuación:



Siendo A-C el inicio de introducir los valores, un pequeño error en el valor (d) se amplía enormemente al llegar a (d') en la proyección horizontal AB

De este hecho se deriva el llamado "Efecto Mariposa". Para las personas ajenas a este tipo de elucubraciones, las ideas implicadas en este fenómeno pueden parecer inverosímiles y hasta ridículas, pues se postula, sencillamente, que el vuelo de una mariposa en el

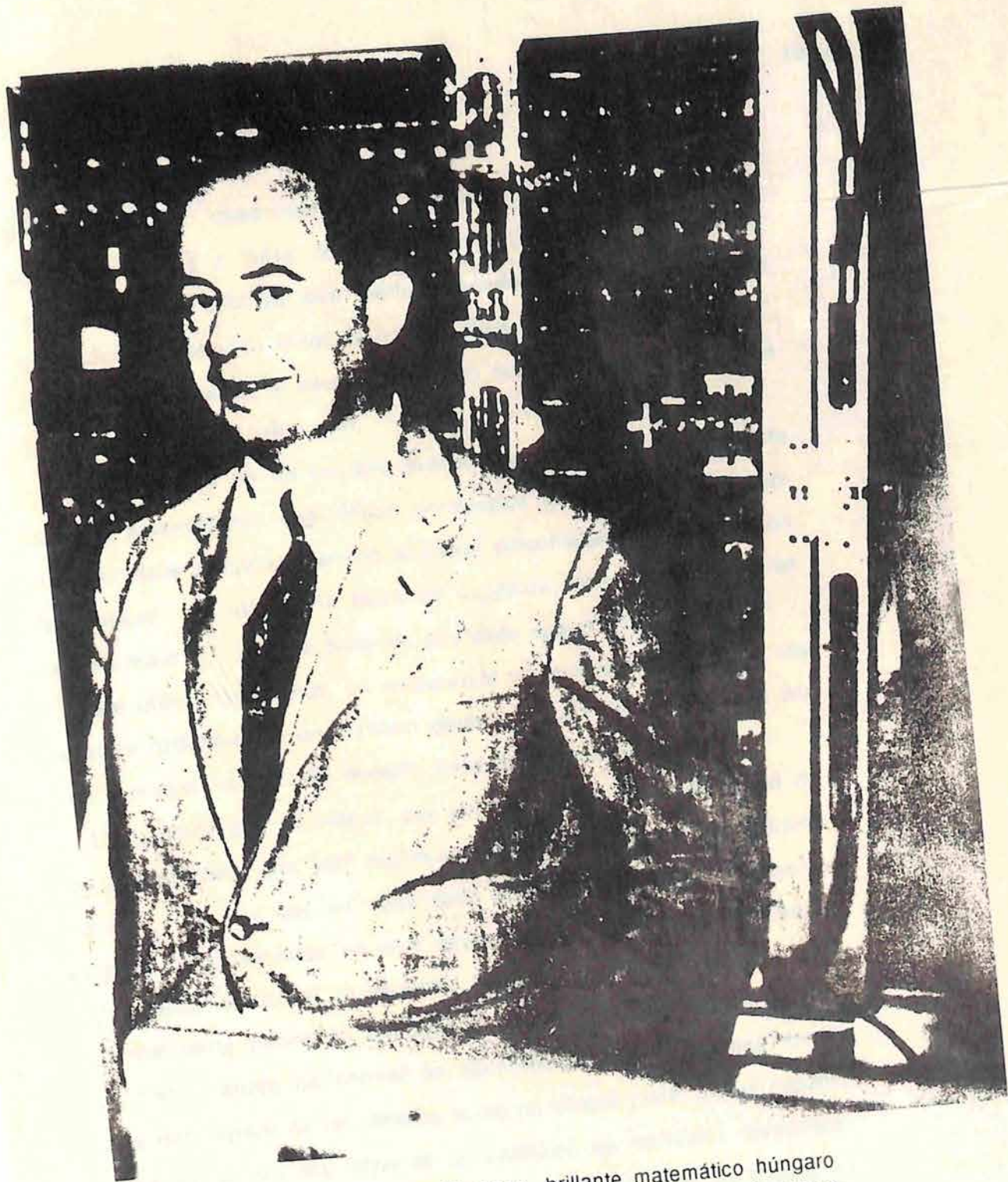


*HOW MUCH IS  $\sqrt[3]{2589^{16}}$ ?*

Un cartel de propaganda para reclutamiento usado por el ejército norteamericano, en el que se alude a la capacidad del ENIAC para hacer cálculos.



Robert Oppenheimer, jefe del proyecto Manhattan, en Los Alamos, para la construcción de la bomba atómica, posa frente al computador construido en 1952 para el Princeton Institute for Advanced Study.



John von Newman, brillante matemático húngaro que residía en los EE. UU. desde antes de la segunda guerra mundial y contribuyó de manera decisiva al progreso de la computadora. Usó el ENIAC para hacer importantes cálculos en la fabricación de la bomba atómica.



patio de nuestra casa puede tener repercusiones en la formación de una tormenta a miles de kilómetros de distancia. Interpolando resultados, se concluye que perturbaciones originadas a niveles microcósmicos pueden tener marcados efectos macrocósmicos.

Lorenz descubrió, al mismo tiempo, lo que se ha denominado, en inglés, el *"strange attractor"*.

Como se dijo en un capítulo precedente, la traducción literal de algunas innovaciones lingüísticas necesarias para expresar conceptos científicos modernos, puede acarrear dificultades. Esta vez, con la finalidad de facilitar la tarea se explicará, previamente, qué es un *"attractor"* y, qué se entiende por *"state space"*.

Este último representa, en resumen, *la especificación de todas las variables incluidas en un sistema dinámico y no tiene nada que ver con la noción habitual de nuestro espacio tridimensional.*

Un péndulo que se mueve, por ejemplo, posee un state space de dos dimensiones; una está representada por la posición del extremo movable y la otra por su velocidad. En un sistema que incluyera, además, un movimiento en otra dirección el state space consistiría en un punto dentro de un espacio tridimensional. Para cada variable adicional sería necesario añadir una nueva dimensión hasta el infinito. Esta manera de pensar en términos abstractos permite localizar el state space de un sistema como un simple punto en un espacio multidimensional, sin importar la cantidad de variables implícitas. A medida que el sistema cambia en el tiempo ese punto se mueve en su state space multidimensional y muestra cómo se conduce el sistema en función del tiempo.

Si las variables no son infinitas (como ocurre en los sistemas reales) el punto se mueve en un área limitada de su state space. Entonces, entra en juego otro factor que determina, dentro del área señalada, el lugar en que debe detenerse el punto móvil.

Ese factor que atrae dicho punto hacia el lugar en que debe detenerse, es el *attractor*. El área circundante se denomina "basin of attraction" que podría traducirse como "laguna de atracción".

Un attractor, puede ser un punto fijo, como ocurre con el péndulo que, debido a la fricción caerá, eventualmente, en su posición de reposo, con velocidad cero.

Otras veces, el attractor se comporta como un círculo, debido a que las variables físicas dentro del sistema tienen movimiento periódico. Este tipo de attractor ocurre en algunas reacciones químicas. (Ver páginas 16 y 17).

En casos más complicados, el attractor se comporta como una línea interminable en la superficie de una figura similar a un salvavidas circular que los matemáticos denominan *torus* y que los norteamericanos comparan con un "donut". Esta modalidad constituye el "*quasi periodic attractor*" que nunca retorna a un mismo sitio, aunque se mantiene en un área reducida.

Finalmente, puede ocurrir que las trayectorias del punto en el state space, además de no regresar al mismo sitio tienden a ser divergentes y, rápidamente, se apartan unas de las otras. Este es el caso del *strange attractor*, donde no hay periodicidad y, contrario a lo que ocurre en las otras formas de attractors, una diferencia insignificante en los datos iniciales es rápidamente amplificada.

Ninguna ecuación puede definirlo de manera precisa y, conduce al caos. Es conveniente repetir que los atractores son propiedades de las ecuaciones no lineales y que éstas son necesarias para describir la realidad del mundo que nos rodea. No faltan, al alcance de la mano, ejemplos inequívocos de caos.

Tanto el aumento progresivo de la velocidad del agua para formar la turbulencia, como el ritmo de crecimiento de una población y la evolución de otros sistemas dinámicos, aparentemente disímiles, tienen como características comunes la duplicación o bifurcación del proceso y la retroalimentación que lo incrementa (iteration). Esos dos componentes conducen directamente al caos y las ecuaciones no lineales que los rigen, salvo contadas excepciones, son matemáticamente intratables.

Sin embargo, mediante la computadora, es posible hacer análisis numéricos de esas ecuaciones, independientemente de su naturaleza lineal o no lineal. Si se considera que la vida y el mundo que nos rodea están llenos de situaciones no lineales, podemos entender mejor lo que ha de representar en las investigaciones futuras el uso de la computadora. El descubrimiento del caos determinístico, realizado por Lorenz, no constituye un caso aislado.

En 1975, Mitchell Feigenbaum, de Los Alamos Laboratory, hacía una visita de verano en el Aspen Center of Physics. Estudiaba entonces, el comportamiento de algunas ecuaciones cuando los sistemas dinámicos se acercaban al caos. Sin ningún motivo que lo justificara decidió prescindir de la ayuda instrumental que le ofrecía aquel lugar donde abundan las computadoras más sofisticadas y

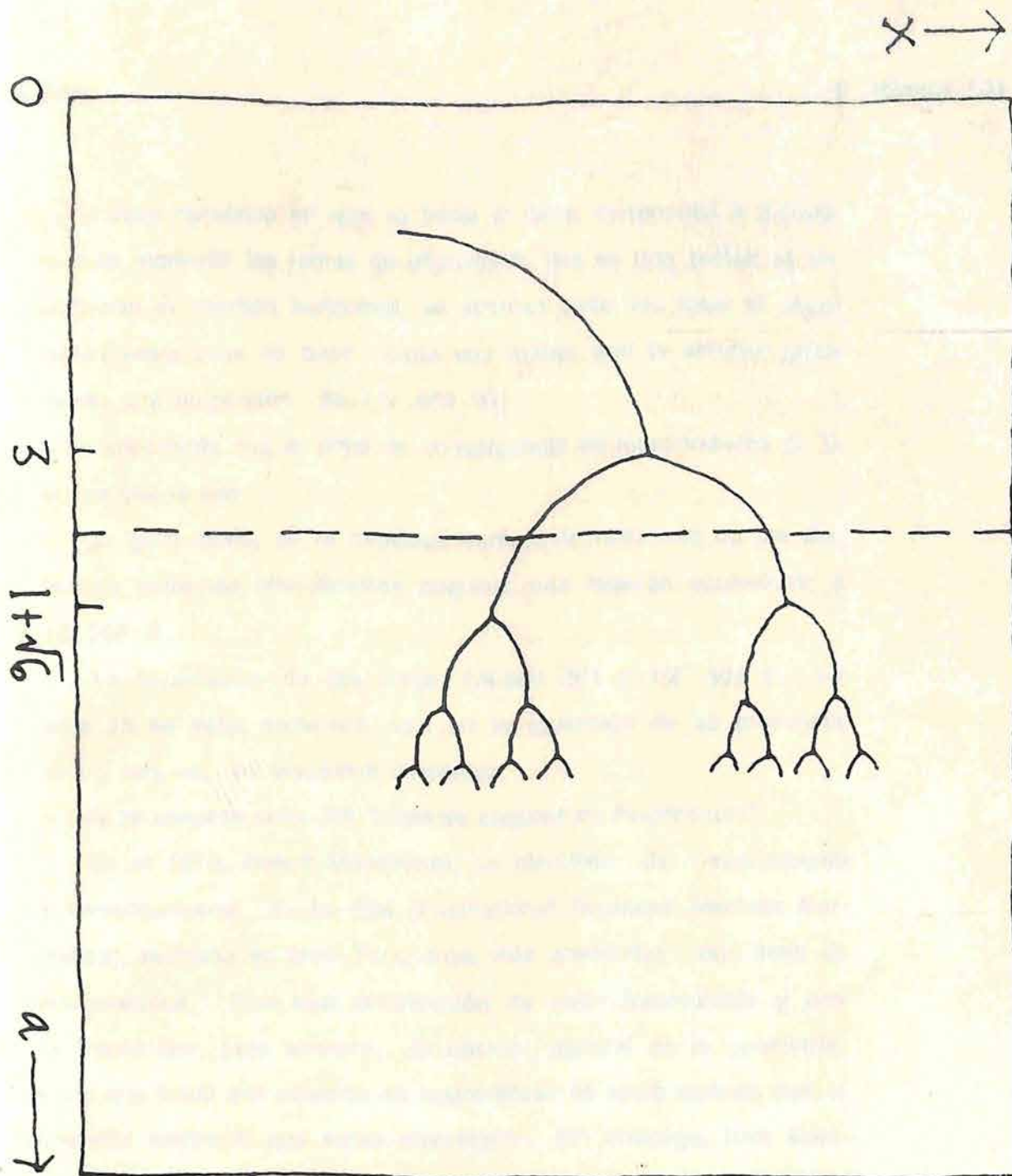
según su propia expresión, "prefirió hacerlo con una pequeña calculadora manual porque a él le gusta jugar con números". Esa actitud, le permitió ver y memorizar algunas cifras que aparecían reiteradamente. ¡Si hubiera usado una computadora no habría podido notar lo!. Un mes después, ya de regreso en Los Alamos, al hacer una revisión similar con otro sistema dinámico, le sorprendió que al acercarse al caos, también aquí, aparecían los mismos números que había obtenido en Aspen.

Feigenbaum supo, inmediatamente, que aquello no podía ser una simple casualidad. Pensó que esas cifras podían pertenecer al grupo de números universales, como  $\pi$ , que representa la relación entre la circunferencia y el diámetro de un círculo; idea, que era interesante aunque no existiera conexión aparente entre la relación geométrica y los sistemas dinámicos.

Para entender mejor el significado de este hecho es útil recordar que en las gráficas del space-state las ecuaciones permiten determinar, primero, un pequeño valor inicial para un punto  $x$ , luego, al incrementarse el proceso se llega a un nivel crítico donde se produce una primera bifurcación, y con ella, se le permite a  $x$  fluctuar entre dos nuevos valores.

Si el proceso sigue en aumento se producen nuevas bifurcaciones y, entonces,  $x$  puede fluctuar entre más valores diferentes.

El ritmo de aparición de las bifurcaciones se acelera, progresivamente, hasta alcanzar un número infinito de ramas y, así, se instala el caos.



Esquema explicativo de la aparición del caos.

La línea vertical de puntos interrumpidos representa un valor en la horizontal (a) donde se produce una bifurcación estable del fenómeno observado. Pero a medida que se aumenta el valor en (a) las bifurcaciones se producen más y más rápidamente en una cascada de duplicación de período. Este proceso adquiere una precisión matemática regida por los números mágicos de Feigenbaum, que indican el momento en que llegan a producirse los cambios erráticos e impredecibles del caos. Es interesante observar que la distancia entre las bifurcaciones se reduce tanto en el sentido horizontal como en el vertical.

El valor numérico en que se inicia el caos, corresponde a 3.5699; en este momento las ramas de bifurcación, que en una gráfica se extenderían en sentido horizontal, se acercan cada vez más; la separación entre ellas se hace cada vez menor que la anterior guardando una proporción de  $1/4.669\ 201$

Es importante que el ritmo de convergencia es independiente de la escala que se use.

De igual modo, en la dirección vertical, la reducción de las distancias entre las bifurcaciones adquiere una relación equivalente a  $1/2.502\ 9...$

La importancia de las cifras,  $1/4.669\ 201$  y  $1/2.502\ 9...$  no está en su valor numérico, sino en la repetición de su presencia una y otra vez, en contextos diferentes.

Hoy se conocen como los "*números mágicos de Feigenbaum*".

En el 1975, Benoit Mandelbrot, un científico del Departamento de Investigaciones de la IBM (International Business Machine Corporation), radicado en New York, cuya vida académica está llena de peculiaridades, hizo una contribución de valor incalculable y con ella transformó, para siempre, la noción general de la geometría. Desde que inició sus estudios en matemáticas se sintió molesto con el contenido abstracto que estas representan. Sin embargo, tuvo siempre una extraordinaria facilidad para expresar visualmente ese mismo contenido.

Esto lo condujo por el camino de la geometría, pero su percepción del detalle le hacía concentrar su atención, más en las irregularidades del mundo real que en las figuras geométricas.

Las primeras frases de su libro intitulado "The Fractal Geometry of Nature" nos dejan ver, inmediatamente, el origen de sus concepciones. Los pequeños detalles se convierten en complicados laberintos que conducen, finalmente, a la explicación de las situaciones caóticas propias del ambiente. Al comenzar, nos dice: "Las nubes no son esferas, las montañas no son conos". Asimismo, expone la inútil pretensión de medir con exactitud la longitud de un litoral cuya representación en los mapas geográficos es una ridícula simplificación de lo que realmente ocurre en el terreno.

La infinita irregularidad que caracteriza a los contornos de una costa, contribuyó, entre otras cosas, al nacimiento de su trascendental concepción de los *fractales* ("fractals").

Con el mismo principio se obtienen imágenes representativas de los copos de nieve, de las ramificaciones de los árboles, de las inflorescencias, de los aspectos que presentan diferentes especies animales, de las crestas de las olas y de cualquiera de los objetos que pululan en el ambiente que nos rodea.

La geometría euclidiana, al igual que el reduccionismo en biología, nos ofrece objetos muy distantes de la elusiva realidad que perseguimos. La palabra *fractal* viene del latín y significa "irregular", pero a Mandelbrot, le agrada, muy especialmente, la connotación fonética que induce a pensar en fraccional o fragmentado. De hecho, muchas imágenes derivadas de fractales poseen una preciosa regularidad.

Es tal la importancia actual de los fractales, que John Wheeler, el famoso físico creador de la expresión "hoyos negros", ha dicho lo

siguiente: "Del mismo modo, que unas décadas atrás, para una persona considerarse científicamente culta debía entender el concepto de entropía, en lo futuro, será indispensable familiarizarse con la noción de los fractales."

Para ser breve y comunicar, al mismo tiempo, la idea de los fractales, es conveniente comenzar con el dibujo de un triángulo equilátero; luego dividimos cada uno de sus lados en tres partes iguales y de la porción central de cada uno de sus lados proyectamos en el contorno otro triángulo equilátero. Con los primeros triángulos añadidos se construye una estrella de David, que los judíos consideran representativa, entre otras cosas, de la unión entre el hombre y la mujer, porque vista de otra manera, encierra dos triángulos entrecruzados.

Una segunda serie obtenida mediante el mismo procedimiento inicial, hace surgir la imagen de un copo de nieve. La repetición del esquema puede extenderse hasta lo infinito mientras surgen imágenes cada vez más complicadas y de increíble belleza.

Es de notar que el mecanismo usado para reproducir las imágenes se basa en la *iteration* (*feed back* o retroalimentación) asociada a la *auto-similitud*.

Asimismo, las implicaciones matemáticas son extensísimas y abarcan, como puede verse, una gran variedad de disciplinas.

Su punto de partida, sin embargo, es el ya famoso "set de Mandelbrot" cuyas ecuaciones nos sorprenden por su sencillez inicial y por los resultados obtenidos mediante su aplicación sucesiva. La regla o "mapping" en el ambiente de cómputos es:  $z \rightarrow z^2 + c$ ,



donde  $z$  es un número complejo y  $c$  es un número complejo fijo. Esto puede traducirse como: Tomar un número complejo  $z$  y sustituirlo por  $z^2 + c$ , luego tomar el nuevo número  $z$  y repetir el mismo procedimiento otra, otra y otra vez.

Según expresa Mandelbrot, al observar cuán frecuentemente, los objetos naturales se comportan de esa misma manera, se sintió profundamente impresionado.

Es fácil comprobar la abundancia de ejemplos convincentes, comenzando por el microcosmos y terminando en las galaxias.

Pero si queremos apreciar en todo su significado este nuevo enfoque de la geometría y de las formas en el espacio, debemos retroceder a épocas pretéritas y observar la evolución histórica de las representaciones espaciales.

Las discusiones de Heráclito con los eleáticos acerca del movimiento y las famosas paradojas conocidas como: "La Dicotomía", "Aquiles", "La Flecha" y "El Stadium" (ver mi libro "Desde el Hombre de Neanderthal hasta El Renacimiento") están obligatoriamente relacionadas con la divisibilidad del espacio.

Pero quien organizó el estudio de las formas geométricas y el espacio hasta crear una estructura conceptual inmovible por milenios, fue Euclides. Su obra, "Elementos" ha sido considerada como el mejor libro de texto que jamás se haya escrito. Einstein refiere de manera explícita la imborrable impresión que le produjo la lectura de esa obra y la influencia que tuvo en su manera de pensar.

Luego Descartes amplía la asociación del álgebra con la geometría y más tarde con la introducción del cálculo de Newton y Leibniz culmina una importante etapa en la evolución de las matemáticas con nuevas aplicaciones en las representaciones del espacio y del movimiento. Pero, hasta entonces, ese espacio constituía una entidad plana y en su geometría los ángulos internos de un triángulo sumaban  $180^\circ$ .

En la mañana del viernes 10 de junio del 1854, George Friedrich Bernhard Riemann (1826-1866), pronunció una conferencia intitulada "Acerca de la hipótesis que sustenta las bases de la geometría" cuyas consecuencias, él mismo, no podía haber imaginado. Dada su trascendencia, es útil exponer algunos detalles acerca del origen y de la gestación de este trabajo.

Riemann contaba entonces 27 años de edad, era discípulo de Gauss y le ofrecieron la oportunidad de ocupar un puesto como profesor en la Universidad de Göttingen, pero la única remuneración que tenía ese cargo debía proceder de lo que pagaran los alumnos que quisieran asistir a sus clases.

Era usual, además, que se le ofrecieran al candidato tres temas, de los cuales, el último casi nunca era tomado en consideración.

Pero Gauss, que estaba ya en las postrimerías de su vida y le había dedicado más de 60 años a los fundamentos de la geometría, prácticamente, obligó a Riemann a escoger dicho tópico sin imaginar hasta donde llegaría su discípulo. Riemann se había especializado en álgebra y trabajaba arduamente en electricidad, electromagnetismo y gravitación sin haber manifestado ningún interés por la geo-

metría. Para empeorar la situación, padeció quebrantos de salud y tuvo que preparar su trabajo en un período de siete semanas, estando aún convalesciente. Pero las condiciones físicas de Gauss obligaron a posponer su presentación hasta la fecha ya indicada.

Para no hacer la historia más larga, sólo se añadirá que en vez de limitarse a la geometría de Gauss con dos dimensiones Riemann hizo la presentación algebraica de un espacio con un número  $n$  de dimensiones cuya configuración era necesariamente curva y, sin haber considerado los aspectos físicos, predijo que fuerzas externas ejercerían su influencia con capacidad de modificar el espacio. De ese modo, se adelantaba en más de medio siglo a lo sustentado por Einstein en su teoría general de la relatividad.

Desgraciadamente, Reimann murió a la corta edad de 39 años.

En la actualidad, esa teoría Einsteniana se considera como una de las concepciones más brillantes de la física teórica. En ella, el espacio es curvo y su configuración es modificada por la presencia de masas como había predicho Reimann, sin la intención y sin la noción de lo que eso representaba desde el punto de vista físico (ver el capítulo intitulado: "La Teoría de la Relatividad de Profano a Profano en mi libro "Simplemente un Rayo de Luz").

Hacia finales del 1992, Mitchell Waldrop publicó su excelente obra, "Complexity: The Emerging Science at the Edge of Order and Chaos." En ella se relata la historia de la llamada "Santa Fe Institution", concebida por algunos de los físicos que participaron en la fabricación de la bomba atómica en Los Alamos. Ese grupo estaba dirigido por George A. Cowan y por Murray Gell-Mann, autor de la

teoría de los quarks y una de las figuras de más prestigio en el mundo científico. Ellos encargaron a otras personalidades reconocidas en diferentes actividades académicas, como Kenneth J. Arrow, celebrado Premio Nobel de Economía, la selección cuidadosa de otros investigadores con actividades ajenas a la física y que tuvieran en las situaciones complejas un común denominador para sus respectivos materiales de estudio. Esto ocurre con la biología, la economía, la sociología, la ecología, la meteorología, etc. El interés de los físicos en promover ese acercamiento se debió a que en esas otras actividades se había logrado un notable progreso con respecto al estudio de las situaciones complejas y caóticas, mientras la física permanecía impotente frente a ellas. Tal como se dijo, la física clásica descansaba en los aportes matemáticos de René Descartes y del Cálculo introducido simultáneamente por Newton y Leibniz. La Mecánica Newtoniana le proporcionó a la humanidad la sensación de haber hallado un orden en la naturaleza y el *determinismo* parecía un hecho demostrado. Con la teoría del quantum de Max Planck seguida de la relatividad de Einstein se inicia la etapa de la física moderna que continúa con la mecánica cuántica y, así, se destronó el determinismo. Como consecuencia, el Principio de Incertidumbre de Heisenberg se convirtió en la piedra angular de las concepciones teóricas que tratan de explicar nuestra percepción de la naturaleza.

Las matemáticas involucradas en esos aspectos de la física implican el uso de las ecuaciones lineales, ya conocidas. Son expresiones cuyas soluciones pueden derivarse, una de la otra, en secuencia ininterrumpida. En cambio, cuando se trata de las situacio-

nes caóticas, son las ecuaciones no lineales las que pueden permitirnos hallar orden en medio del caos, pero su ordenamiento sería muy difícil sin la ayuda de la computadora. Además, la computadora nos permite hoy crear imágenes virtuales representativas de los *gedankenexperiments* (experimentos imaginarios realizados con el pensamiento) que fascinaban a Einstein. Aunque sería fácil suponer que al diseñar este tipo de experimentos las predicciones pudieran ser autoconfirmadas por la naturaleza de la programación, estas falsas conclusiones pueden ser evitadas y se conserva, de ese modo, la credibilidad en los resultados obtenidos.

Es conveniente señalar, ahora, los aspectos contradictorios que surgen al converger algunos criterios fundamentales relacionados con las diferentes concepciones teóricas mencionadas e incluir en el mismo contexto, interesantes datos experimentales involucrados en este tema.

El determinismo newtoniano, la mecánica cuántica, el caos, las reacciones químicas en que aparece el caos y la actividad enzimática, ofrecen entre sí, aparentes incoherencias que merecen ser dilucidadas. En primer lugar, el descubrimiento del caos determinístico derivado de los trabajos de Lorenz, ha demostrado que el caos es una condición implícita en las ecuaciones newtonianas y que en situaciones conocidas, emerge de ellas. En segundo lugar, las ecuaciones de Schrödinger, fundamentales en la mecánica cuántica, tienen una primordial orientación probabilista (son expresiones de probabilidad de amplitud) y poseen un carácter totalmente determinista en lo que concierne a la evolución temporal de la probabilidad. Sin

embargo, no muestran tendencia al caos. En tercer lugar, se ha señalado, también, la presencia del caos en algunas reacciones químicas y en cuarto lugar, insisto en referirme, muy especialmente, a la interpretación de la actividad enzimática mediante la mecánica cuántica. Esto nos obliga a preguntar: ¿Hay evidencia de caos en los mecanismos biológicos y en la actividad enzimática, esencialmente representativa de los fenómenos vitales? La respuesta a esta pregunta no debe sorprendernos. Recientemente se ha demostrado no sólo la presencia del caos en el funcionamiento de las neuronas, en el ritmo de los latidos cardíacos, en la distribución de los bronquios y los vasos sanguíneos que siguen el sistema de los fractales, etc. Sino que, obviamente, la condición caótica es necesaria para mantener el buen funcionamiento de esos sistemas. Se ha comprobado que cuando el caos es substituído por situaciones ordenadas y predecibles, surgen, casi regularmente las crisis de salud. Un ejemplo demostrativo nos lo ofrece el paro cardíaco.

*Esto es así, porque el caos implica un orden dentro de lo impredecible.*

Un orden que puede pasar fácilmente desapercibido y que hoy se hace evidente por la ayuda que nos brinda la computadora.

Lo impredecible está íntimamente asociado a la elasticidad que requieren los mecanismos biológicos para la rápida adaptación a los cambios que ocurren en su entorno.

Cuando el caos es substituído por un orden rígido, se pierde la versatilidad que caracteriza a la salud y a la juventud para caer en la enfermedad y en la senectud.

Entre los investigadores que han hecho aportaciones trascendentales hay que mencionar los siguientes: John Holland, especialista en ciencia de computos de la Universidad de Michigan, creador de los "Algoritmos Genéticos"; W. Brian Arthur, economista de la Universidad de Stanford, que introdujo la "Retroalimentación Positiva en la Economía" en franco desafío a la sacrosanta concepción de la *economía equilibrada* de Adam Smith; Christopher G. Langton, de Los Alamos National Laboratory; Norman Packard, de la Universidad de Illinois y Stuart A. Kauffman, de la Universidad de Pennsylvania. Ellos contribuyeron a delinear *la teoría de la autoorganización en los procesos de adaptación de los sistemas complejos, con extraordinarias implicaciones científicas y filosóficas*. Según esta concepción, un sistema sólo puede funcionar o prolongar su existencia si logra una constante adaptación a un ambiente caracterizado por la tendencia a una renovación perpetua.

Entre otras cosas, se abrieron nuevas posibilidades para explicar el misterio del surgimiento y el mantenimiento de la vida en el planeta. En vez de suponer la casi imposible aparición al azar de una molécula tan complicada como el ADN, se ha preferido proponer la existencia previa de moléculas proteínicas mucho más simples y con actividad catalítica (enzimas primitivas). Estas moléculas, con sus cualidades, podrían simplificar el inicio de la autoorganización de los compuestos químicos originalmente incluidos en el "caldo propiciatorio" de donde surgió la vida.

Con esto, algunos dan prioridad a las proteínas sobre los ácidos nucleicos en los supuestos mecanismos iniciales de la biogénesis.

Pero una vez más, es preferible recurrir al principio de los opuestos complementarios y considerar que lo importante para la vida es la interacción entre ambos componentes.

Durante cuatro años Holland se obstinó en elaborar la simulación digital de un ecosistema en el cual "organismos" creados en la computadora tratan de sobrevivir y de reproducirse. Al llevar implícita la idea de "simulación de un ecosistema", bautizó ese programa con el nombre de "Echo" Todos esos organismos son dotados del equivalente digital a "cromosomas" que codifican estrategias ofensivas y defensivas. Cada individuo se mueve de un lado a otro en un ambiente hipotético en busca de recursos que incorpora en un reservorio interior.

Si uno de ellos encuentra a otro, ambos luchan y el ganador se nutre con el material del perdedor pues se apodera de lo que poseía el vencido. Si un organismo acumula suficientes recursos en su interior puede reproducirse y los "cromosomas" de su descendencia pueden sufrir "mutaciones".

De ese modo surgen nuevas especies con estrategias más elaboradas tanto en la ofensiva como en la defensiva.

Por sugerencia de Robert Axelrod, Holland agregó al programa la capacidad de colaboración entre los organismos cuando resulta conveniente como un mecanismo de adaptación, pero sin interferir con la tendencia a luchar entre sí. Eso equivale a decir que con esa interesante innovación, Holland le dio a cada entidad las opciones de negociar o de luchar para obtener recursos. Le asignó un distintivo equivalente a un "marcador molecular en la membrana de una célula".



la" con lo cual cada sujeto puede establecer sus reglas de atacar solamente a aquellos otros que poseen determinado distintivo. Si se echa a suertes la distribución de las etiquetas, algunos organismos muestran ciertas afinidades selectivas de "tal para cual" y los que usan estrategias selectivas tienen mejores posibilidades de sobrevivir y reproducirse. Lo más importante, como señala Holland, es que "todo comienza como una distribución de distintivos al azar, pero de manera progresiva, se adquiere una verdadera organización". Los organismos aprenden a asociarse según sus especificaciones y la afinidad para la cooperación y, finalmente, según lo expresan los mismos autores: "aunque pueda parecer inexplicable, hasta aprenden la simulación y la mentira". Recientemente, el programa Pavlov, de Martin Nowak y Karl Sigmund, cuya estrategia simula reacciones reflejas, ha superado al de Axelrod.

W. Brian Arthur ha querido extender la aplicación del concepto de los "sistemas complejos con adaptabilidad" hasta los problemas económicos de manera similar a lo ocurrido en biología y ha postulado que *la Economía debe considerarse como un sistema evolutivo con procesos intrínsecos de cambio*.

La sustentación que dan las nuevas formas matemáticas a los postulados de aquellas ramas de la ciencia que los físicos hasta hace poco trataban de manera despectiva, amenaza con cambiar las jerarquías académicas. Actualmente, parece estar en peligro la auto-proclamada aristocracia de los físicos. Una nueva orientación científica ha permitido que la biología, la economía y otras ramas del conocimiento, anteriormente menospreciadas, se hagan sentir.

En una convención se oyó a Brian Arthur decirle a Murray Gell-Mann, con una sonrisa de triunfo: "La gran diferencia entre nuestras disciplinas, es que ustedes (los físicos) trabajan con partículas estúpidas que obedecen los dictados de leyes simples, mientras que nosotros, trabajamos con partículas inteligentes como son los conglomerados de fabricantes, de empresas, de consumidores y de políticos; de gente que piensa y puede actuar *de manera impredecible*". Si se toma en consideración el ritmo acelerado con que avanzan la ciencia y la tecnología, ayudadas por su reconocido mecanismo de retroalimentación, es fácil admitir que el pensamiento del siglo XXI podrá dar un salto cuyas consecuencias no sean previsibles. Aceptamos, mientras tanto, que los procesos biológicos dependen en gran parte de la sinergia entre los ácidos nucleicos (ADN Y ARN) y las proteínas.

#### COMPONENTES DE LA MATERIA VIVA.

Las propiedades auto y heterocatalíticas del ADN y el ARN les permiten hacer réplicas de ellos mismos y transmitir sus características a sus descendencias. Esos ácidos nucleicos fueron, descritos con amplitud en mi libro "Dialéctica del Biocosmos", por lo cual se omiten, aquí, muchos datos de interés. Están constituidos por la asociación de pequeños grupos denominados *nucleotidos* y, como es bien sabido, la participación primordial de los ácidos nucleicos, en los procesos vitales, es la transmisión de la información genética. *El ADN representa la estructura molecular del gene y cada gene corresponde a una enzima.*

Con este hecho pasamos de la perpetuación de la vida mediante la reproducción, al aspecto funcional que caracteriza a los cambios biológicos.

Según se ha demostrado, las enzimas constituyen el grupo más importante de las proteínas y éstas son las responsables de la mayoría de las características funcionales que hacen a la vida tan diferente de lo inanimado.

Los átomos de hidrógeno, carbono, oxígeno y nitrógeno que integran, fundamentalmente, a las proteínas, ocupan lugares vecinos en la tabla periódica de los elementos, lo que confiere un especial interés biológico a ese grupo, sin ignorar que, complementariamente, aparecen también, y con bastante frecuencia, el azufre, el zinc, el yodo, el hierro, el cobre, el cobalto y otros más, como partícipes de las actividades biológicas.

Entre todos los elementos químicos, el carbono constituye la base de la estructura molecular del biocosmos.

De ahí, que la química orgánica se conozca, también, como química del carbono.

Sin embargo, la nucleosíntesis de este átomo en las pilas atómicas que representan las estrellas, constituye una suma de coincidencias que se añaden a otras más, ya mencionadas, para que la emergencia de la vida adquiriera toda la apariencia de un hecho extremadamente improbable.

En 1960, el famoso astrofísico inglés, Sir Fred Hoyle, observó que la síntesis del carbono en el interior de las estrellas requería la participación del helio e implicaba condiciones excepciona-

les. Entre otras cosas, tenían que producirse colisiones simultáneas de tres núcleos de helio (partículas  $\alpha$ ) a tan alta velocidad que todos permanecieran unidos. Como esas triples colisiones nucleares son tan raras la síntesis sólo puede mantenerse a un ritmo apreciable con la ayuda de cargas energéticas, bien definidas, denominadas "resonancias", que son capaces de amplificar el proceso.

El mecanismo descrito fue predicho teóricamente por Hoyle como única explicación de la abundancia del carbono y, cuando sus ideas fueron experimentalmente comprobadas, dijo: "Es tan monstruosa la serie de accidentes improbables, que las leyes físicas aplicadas al núcleo atómico parecen haber sido amañadas, deliberadamente, para lograr los resultados obtenidos".

Asimismo, John Gribbin y Martin Rees, en "Cosmic Coincidences" dicen: "Las condiciones en nuestro universo parecen ser únicas para que nuestras formas de vida pudieran existir".

Todo esto se relaciona con los Principios Antrópicos, previamente mencionados, pero estos de ninguna manera implican que nuestra existencia determina los dictados de las leyes físicas ni que éstas han sido diseñadas "pensando" en el hombre.

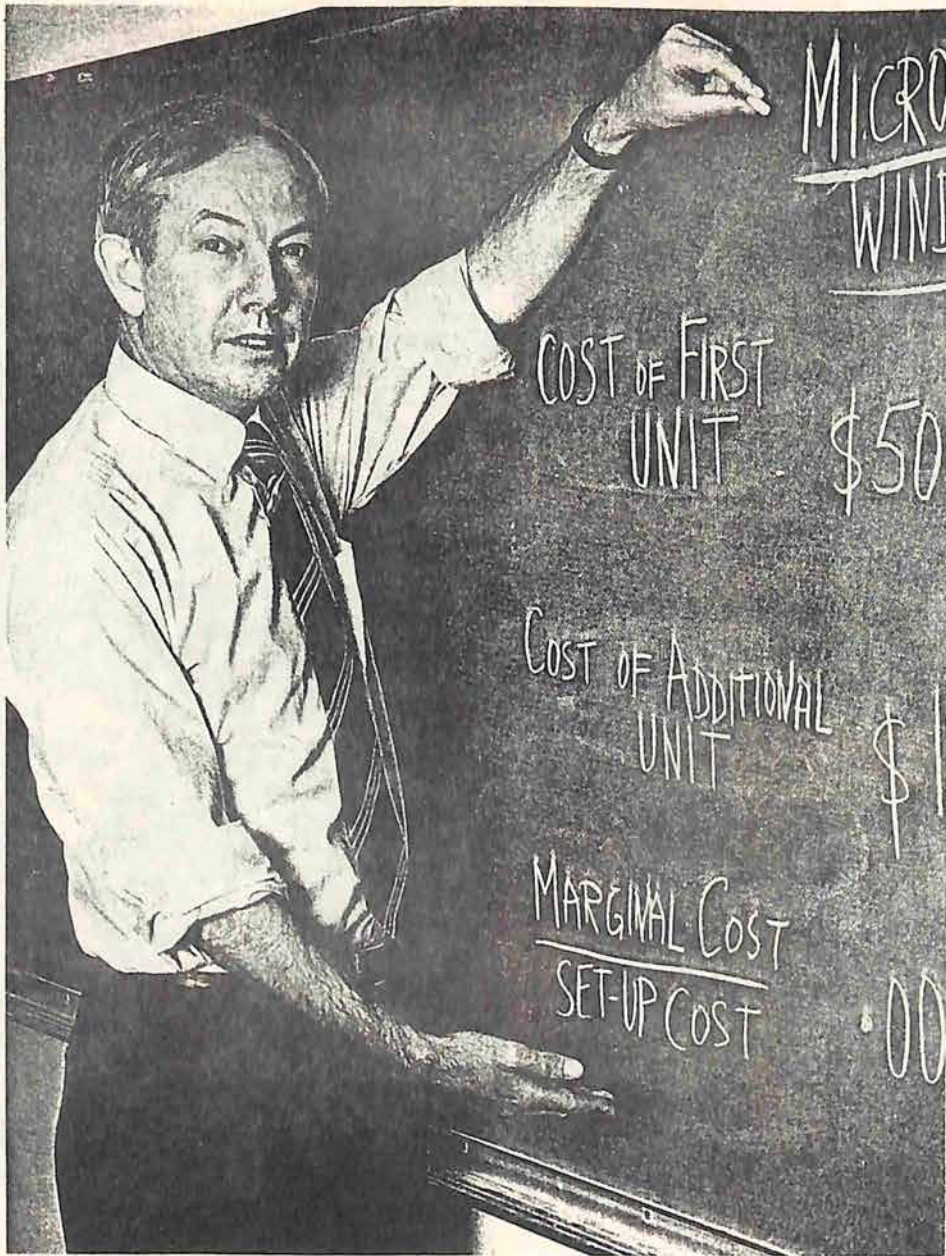
Sin embargo, el hecho de que una mínima diferencia en esas leyes habría privado al universo de poseer un observador consciente posee una profunda significación.

Es también interesante, que junto a su mencionada tendencia evolutiva hacia una organización ascendente, la vida muestra la inclinación a la preservación de lo útil y aprovecha la íntima in-

teracción entre la morfología y las conveniencias funcionales. Esa relación aparece, primeramente, con la asociación de los átomos para constituir las moléculas cuya configuración, como vimos en las enzimas, es de primordial importancia para su actividad bioquímica. En etapas sucesivas emergen, además, las características morfológicas de las células, tejidos, órganos y sistemas, que darán al fenotipo sus cualidades estructurales y funcionales. Pero no pueden dejar de asombrarnos los mecanismos que intervienen en esas diferenciaciones. Los factores determinantes para producir la configuración de un hepatocito, una neurona, un leucocito, una célula epitelial, etc. durante la subdivisión celular que se produce en el embrión, parecerían, a primera vista, incomprensibles y lo mismo podría decirse de la estructuración, las dimensiones y las relaciones anatómicas de los diferentes órganos. Pero todo obedece a sistemas de señales bioquímicas con inherente tendencia a la autoorganización, programada mediante el código genético, a lo cual se añade una evidente capacidad de improvisación y la emergencia de nuevas cualidades que facilitan la adaptación al ambiente, la reproducción y la supervivencia.

#### DESARROLLO DE LA MORFOLOGIA.

Gerald M., Edelman, ganador del Premio Nobel de Fisiología en 1972, escribió una obra bajo el título, "Topobiología," en la cual incluye una explicación de cómo se desarrolló el cerebro. Topos, en griego, significa "lugar" y el título hace referencia a



W. Brian Arthur economista de la Universidad de Standford. Introdujo el concepto de la Economía como un "sistema complejo de adaptación".



John Holland, mago de la computadora en la Universidad de Michigan que participó en las actividades de la "Santa Fe Institution". Artífice de "gedankenexperiments". Su programa "Echo" para simular la evolución de ecosistemas visuales tuvo gran trascendencia en el estudio de las complejidades con relación a la biología.



Murray Gell-Mann, nacido en 1929, brillante físico, creador de la teoría de los "quarks", ganador del Premio Nobel en 1969. Uno de los científicos más destacados en la actualidad. Participó en la "Santa Fe Institution" para el estudio de las situaciones complejas y caóticas.



la importancia que tiene el lugar en que se encuentre cada célula para realizar muchos de los intercambios que deben efectuarse entre ella y sus vecinas. Ese hecho es fundamental para obtener el desarrollo de la morfología. Dicho de otro modo: El destino de una célula lo determinan, en gran parte, el lugar en que se encuentra y su interacción con las otras células circundantes.

Entre las características comunes y más importantes de las células pueden mencionarse:

1. Dividirse. Con lo cual transmite cualitativa y cuantitativamente la misma cantidad de ADN a su descendencia.
2. Emigrar. Al separarse, por ejemplo, de las conexiones que la unen a otros elementos en una capa epitelial. Estas mismas capas pueden también emigrar, replegarse, invaginarse, etc.
3. Adherirse. Contrariamente al hecho de desprenderse pueden escoger nueva compañía de donde surgen otras combinaciones.
4. Diferenciarse, según la programación dictada por el código genético de su ADN. Esa diferenciación implica la producción de diferentes proteínas.
5. Morir, en un lugar determinado.

*Hoy se acepta que el destino de cada célula dependerá de sus relaciones espacio-temporales con las demás.*

La influencia de una célula embrionaria en el destino de otra vecina se considera parte de un proceso denominado "inducción embrionaria" que está en íntima relación con su programación genética y que representa una etapa más avanzada que la correspondiente a las variaciones de estructuras y de configuración de

las proteínas. Al mismo tiempo, los movimientos, las variaciones de conducta y *la muerte de las células en un lugar determinado* obedecen a reglas de estadística y su predicción no puede estar incluida en el código genético.

*El determinismo es también desplazado en estos procesos biológicos por el principio de incertidumbre. En la vida al igual que en la mecánica cuántica predomina lo estocástico.*

Todo parece indicar que existen moléculas denominadas "morfo-reguladoras" producidas por genes específicos ubicados en lugares apropiados del embrión. Esas moléculas controlan la adhesión y el movimiento entre las superficies celulares y están clasificadas en tres familias:

1. Moléculas de adhesión celular representadas, generalmente, por su acronimia en inglés., CAMs, (Cell Adhesion Molecules);
2. Moléculas de adhesión de substratos, SAMs, (Substrate Adhesion Molecules) que une, indirectamente, las células y provee una base matriz sobre la cual pueden desplazarse.
3. Moléculas de uniones celulares, Cell Junctional Molecules, (CJM) que une las células a las hojas epiteliales.

Las variaciones de conducta morfológica y de ubicación o migración de las diferentes células dependerán de las interacciones químicas entre esas moléculas y el contenido proteínico de las células. El resultado final de esa acumulación de factores, en la trayectoria de una célula, puede inducir a una falsa impresión teleológica que hoy resulta innecesaria

Estos planteamientos de Edelman además del prestigio que confiere un Premio Nobel han sido sustentados con pruebas experimentales cuyas consecuencias se discuten todavía.

Por otra parte, los trabajos de Stuart Kauffman introducen aspectos de innegable interés, primero, en lo que concierne a la diferenciación de las células al producirse las subdivisiones embrionarias y, segundo, con respecto a las características morfológicas de los organismos. Los aportes de Kauffman tienen fundamento matemático y antes de evaluar su significado es conveniente señalar algunos aspectos de la vida y de la personalidad de este espectacular investigador.

En 1957, su aspiración era escribir obras teatrales, pero en menos de un mes y después de dos intentos frustratorios, abandonó la idea y decidió estudiar filosofía en Dartmouth, donde se graduó (Phi Beta Kappa).

En 1961, obtuvo una beca para estudiar en la Universidad de Oxford y considera ese episodio como una de las épocas más fructíferas de su vida.

Pero decidió que para ser un buen filósofo había que tener por lo menos la mentalidad de Emmanuel Kant y no le agradó la idea de competir con el creador de "la cosa en sí". Consecuentemente abandonó la filosofía y optó por seguir los pasos de Hipócrates y Galeno.

En 1964, tomó un curso de premédica en la Universidad de Berkeley, California, orientado hacia la biología y la embriología.

En esa época, una de las características dominantes en el ambiente de Berkeley era el radicalismo político e inicialmente se vio involucrado en movimientos de protestas antibélicas, pero pronto se convenció de que esa no era la mejor forma de aprovechar su tiempo.

En los inicios de la década del 1960, hubo gran entusiasmo en la biología molecular al dilucidarse el código genético a partir de los trabajos realizados en el Instituto Pasteur por François Jacob y Jacques Monod, quienes obtuvieron el Premio Nobel por esa brillante labor. Ellos descubrieron el mecanismo de retroalimentación que regulaba el funcionamiento de los genes como si fueran interruptores moleculares con un sistema binario semejante al de una computadora.

Kauffman quedó fascinado con el estudio de la diferenciación de las células que van a constituir la multiplicidad de órganos con funciones distintas y se dedicó intensamente a la embriología. El mismo nos refiere: "Me preguntaba de manera obsesiva, ¿Cómo es posible que 100,000 genes del ser humano puedan producir y organizar 250 tipos de células diferentes?"

Entonces pensó, que basado en los trabajos de Jacob y Monod, podía buscar una respuesta. Había construido en Oxford un sistema con una red de comunicaciones intergenéticas que era compatible con las conclusiones de los investigadores franceses.

Aunque Kauffman sólo tenía conocimientos elementales de embriología e igualmente rudimentarios en matemáticas, no vaciló en acometer una empresa en la que ya habían fracasado renom-

brados biólogos y matemáticos. A ese respecto nos dice: "Mi ignorancia era una fuerza. Si yo hubiera tenido una educación en biología y hubiera sabido matemáticas me habría dado cuenta de que, lógicamente, mis pretensiones no tenían posibilidades de éxito y no habría intentado conseguir mi propósito".

Su convicción de que el proceso de selección natural en que descansa el Evolucionismo era insuficiente para orquestar la actividad de 100,000 genes en el genoma humano y producir 250 tipos diferentes de células constituía su mayor estímulo.

Señala que los estados potenciales de actividad genética en esas circunstancias alcanzan la cifra de  $10^{30,000}$  lo que representa una cantidad muy superior al número de átomos de hidrógeno que existen en el universo. Con evidente satisfacción expresa: "Siempre he estado seguro de tener una mejor solución aunque no parezca razonable por ser absolutamente contraintuitiva. Imaginemos una red en la cual los genes están organizados con las posibilidades de estar cada uno activo o inactivo, dependiendo de su interacción con los demás y, agreguemos, que cada conexión entre los genes es asignada al azar.

¿Debe alguien prever que de esa situación pueda surgir un orden? Lógicamente, no debería, pero resulta que, en contra de la lógica, el orden se establece de manera inequívoca".

El modelo introducido por Kauffman corresponde a un sistema denominado Booleano, en honor a George Boole, el inglés que inventó el enfoque algebraico de la lógica matemática.

La red pasa por una serie de estados y, en un momento dado, cada elemento contenido en ella es capaz de examinar los estímulos que recibe de los otros y, entonces, adquiere uno de los dos estados posibles: activación o inactivación, según las reglas establecidas en el sistema para responder a las señales. Ese mecanismo se repite en etapas sucesivas.

Teóricamente, la red puede recorrer todos los estados posibles antes de repetir uno de ellos, pero en la práctica, sin embargo, se producen verdaderos ciclos donde varios estados pasan de uno al otro en organización circular repetitiva que se conoce como "state cycle" (estado cíclico) que implica la existencia de un attractor y el número de attractors puede multiplicarse.

Kauffman comenta: Yo pasaba horas trabajando manualmente con esas redes matemáticas. Mis libros de farmacología tienen los márgenes llenos de cálculos, esquemas y anotaciones al respecto. Pero la velocidad con que crece el número de posibles estados aun en redes pequeñas es asombrosa y rápidamente se hace imposible manejarlos. Al pasar de ocho elementos se hace imprescindible la ayuda de la computadora, por lo cual, busqué una persona que me enseñara a hacer mis programas y llegué a correr una red de 100 elementos, cada uno con dos posibles opciones y repartidos al azar.

De ese modo, en 1965, cuando Kauffman tenía 24 años de edad y estudiaba el segundo año de medicina en la Universidad de California, San Francisco, tenía ya en su mente ideas tan desconcertantes como la negación de los mecanismos de selección natural en que descansa el Evolucionismo.

Un día se presentó ante un grupo de expertos en computos y comenzó a barajar las tarjetas de datos que traía antes de entregárselas al programador. Todos lo miraron como si estuviera haciendo una locura, pues lo primero que requiere un programa para dar resultados correctos es que los datos de alimentación estén perfectamente ordenados. Una sola tarjeta fuera de lugar, invalida los resultados.

Recordando aún ese momento, nos dice: "Desde entonces tenía la inconvencible convicción de poseer la razón. Basta pensar que mi pequeña red de 100 elementos implicaba la posibilidad de obtener  $10^{30}$  estados diferentes que revisados al ritmo de un estado por segundo tomaría un centenar de millones de millones de veces la edad que tiene el universo. Además, tenía que pagar de mi bolsillo el tiempo de uso de la computadora y si éste se extendía por unos días me habría resultado incosteable.

Había que ser demasiado inocente para intentar lo que hice. Pero tuve una suerte extraordinaria. El estado de ciclo se produjo al correr solamente 16 estados y el ciclo, en sí mismo, contenía cuatro estados. Al ver los resultados exclamé: ¡Dios mío! He hallado algo muy profundo. Y todavía, sigo creyendo lo mismo. Es la cristalización de orden obtenido de sistemas masivamente desordenados. Es la obtención gratuita del orden".

Las consecuencias de ese descubrimiento se siguen extendiendo día tras día. La teoría de la auto-organización de los sistemas complejos, cada vez encuentra nuevos terrenos donde puede ser aplicada.

Sin embargo, creo necesario señalar en contra de la postura de Kauffman, que sus hallazgos Booleanos no tienen que contradecir, necesariamente, los mecanismos de selección natural que propone el Evolucionismo. Más bien podrían considerarse como expresiones matemáticas complementarias al Darwinismo.

No es difícil percibir en este caso la posible inclusión del valioso Principio de los Opuestos Complementarios que tan brillantemente elaborara Niels Bohr.

De todos modos, lo importante es reconocer el valor incalculable que ha tenido para el avance de la biología la contribución de Stuart Kauffman quien en 1987 recibió de la MacArthur Foundation una beca que sólo se otorga a investigadores calificados como genios.

Ulteriormente ha trabajado en colaboración con Brian Goodwin, uno de los biólogos más brillantes del momento y sus ideas parecen tener evidente afinidad.

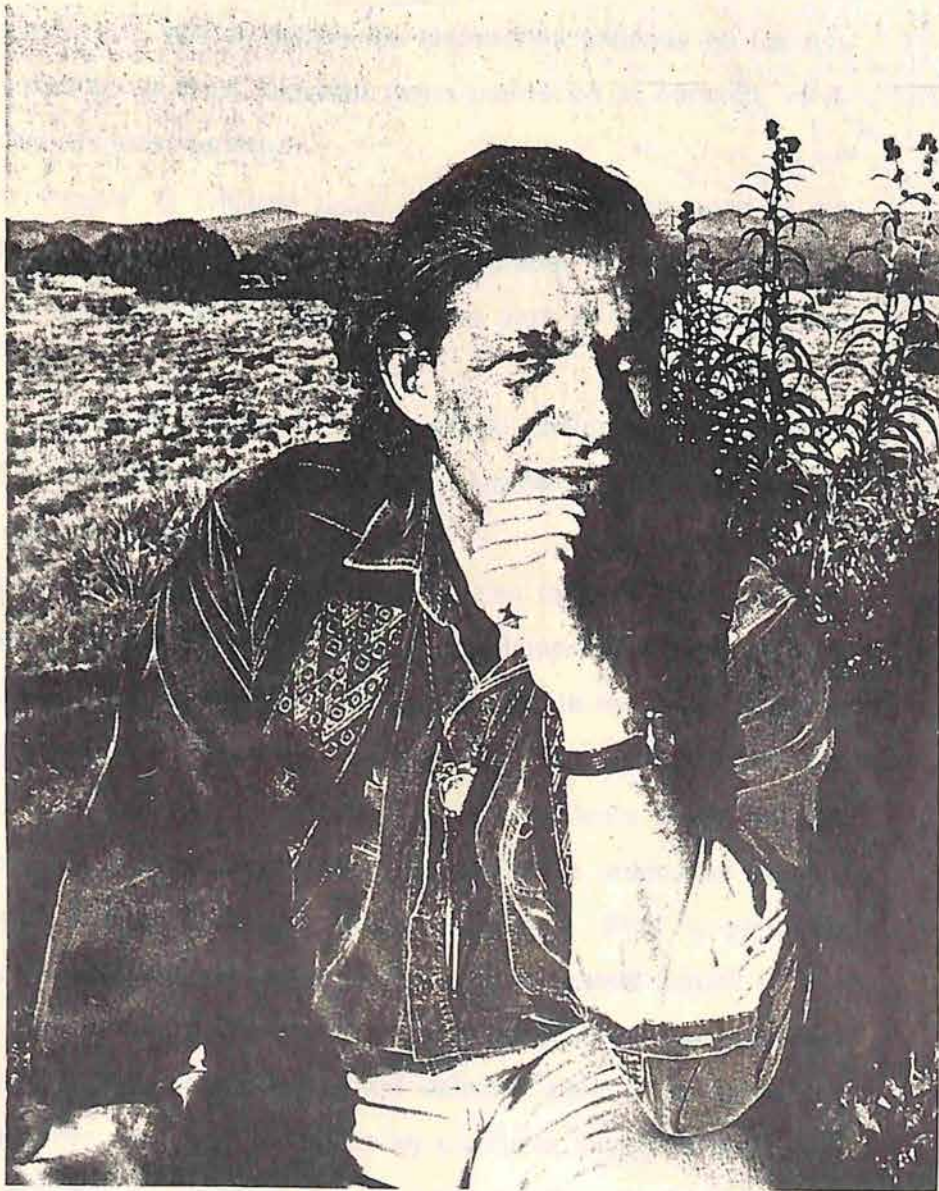
Con todo lo dicho acerca de las complejidades y de las situaciones caóticas es probable que algún lector se pregunte: ¿Cuál es la diferencia entre esas dos entidades y qué relaciones existen entre ellas?

En vez de pretender ofrecerles una respuesta directa, prefiero reproducir lo que dice Roger Lewin en su excelente libro, "Complexity. Life at the Edge of Chaos":

"He hecho la misma pregunta a muchos expertos y me agrada la respuesta que me diera Chris Langton, uno de los investigadores más notables en esa nueva rama de la ciencia: 'El caos y la complejidad se persiguen entre sí alrededor de un círculo tratando de averiguar si son iguales o diferentes'.

"En sentido general, puede decirse que la complejidad está entre el orden y el caos.' Mientras la vida, a su vez, parece hallar el ambiente más propicio para surgir y mantenerse, en el mismo borde del caos."





Stuart A. Kauffman, una de las figuras más brillantes y pintorescas entre aquellos dedicados al estudio del caos y las complejidades con relación a la biología.

Por otra parte, son evidentes las situaciones caóticas en las funciones biológicas más elevadas como ocurre en el corazón, el riñón y el sistema nervioso.

Heinz Pagels, el brillante físico, muerto a temprana edad en un accidente, mientras escalaba una montaña, afirmaba: "El que controle la Teoría de las Complejidades será la superpotencia del siglo XXI".

En la actualidad Michael Field y Martin Golubitsky han establecido las relaciones matemáticas que permiten obtener, por lo menos, simetría en el caos.

William L. Ditto y Louis M. Pecora, han logrado controlar algunos sistemas de conducta caótica con importantes aplicaciones prácticas, como son el aumento de potencia de los rayos laser, la sincronización de circuitos electrónicos y la estabilización de los latidos cardíacos. Ellos señalan que la conducta de un sistema caótico incluye muchas entidades con conductas ordenadas sin que ninguna de ellas predomine sobre las demás. Pero al perturbar un sistema caótico, de manera adecuada, se puede inducir el sistema a seguir uno de los muchos componentes regulares que contiene. La enorme flexibilidad de los sistemas caóticos se debe a la facilidad con que pueden variar su conducta. Por otra parte, es muy importante recordar que el caos es impredecible, pero al mismo tiempo, es también determinístico.

Con todas las variantes en que se manifiesta, la vida busca su propia perpetuidad más allá del individuo y de la especie.

Conocemos los intentos fallidos de especies que se han extinguido mientras surgieron otras hasta llegar al hombre que, según su propio criterio, es la obra más avanzada de la naturaleza.

#### LA PRESENCIA DEL HOMBRE.

Un ente que lleva, en sí mismo, el germen de los eternos opuestos complementarios. En medio del vicio y la virtud. Entre la flaqueza y la templanza. Con un cerebro capaz de proyectar una diferente realidad, representativa del universo, debido a una exclusiva capacidad perceptiva que incide el continuo espaciotiempo de la física prebiótica.

Solamente el cerebro del Homo sapiens ha logrado la separación del tiempo como una cuarta dimensión. Sin embargo, ese órgano privilegiado no puede impedir que el hombre se comporte, más de una vez, como la más irracional de todas las criaturas. Con un organismo dotado de un formidable sistema inmunológico y una enorme capacidad de adaptación, pretende ya, invadir y colonizar otros mundos, mientras demuestra, insistentemente, su incapacidad para preservar el que le dio origen.

Sin regatearle al sexo la importancia que le otorgara Freud, como el estímulo por excelencia que brinda la naturaleza para garantizar la procreación, ha ampliado los horizontes del amor hasta alcanzar las más sublimes emociones con *amicitia* y *cari-tas*, con el amor a la verdad y a la belleza, y con su venerante contemplación de la naturaleza.

Pero, asimismo, vive consciente de ser el más grande depredador, responsable de la extinción de muchas especies y capaz de provocar su propio exterminio.

Se vanagloria de ser el único observador consciente de la Creación y se pregunta la razón de su existencia. Concluye, entonces, que su presencia en el universo tiene un designio, y lo relaciona con Dios. Palabra que representa nuestra más elevada abstracción y ante la cual se declara incompetente el intelecto.

Porque el raciocinio no basta para llegar a Dios y sólo la fe permite sentirlo íntimamente.

Y la fe, por definición, excluye al intelecto.

Además, esa fe, primera entre las virtudes teologales, al igual que las otras virtudes, no obedece a la voluntad, no se adquiere con la enseñanza ni basta querer tenerla para poder alcanzarla.

#### SENECTUD Y MUERTE.

El envejecimiento es un tema de investigación que tiene, en la actualidad, gran importancia por sus implicaciones biológicas y socioeconómicas. Las poblaciones de países avanzados muestran, ya, un porcentaje creciente de ancianos que representan una pesada carga, mientras las condiciones de vida que impone la senilidad son absolutamente indeseables.

El hombre desea la longevidad, pero es tan penosa la disminución progresiva de las facultades físicas e intelectuales que el deterioro de la calidad de vida impuesto por los procesos degenerativos de la edad proveya la hacen poco grata.

Hoy se postula que los cambios propios de la vejez se deben a mutaciones consecutivas de los genes originales. Esos cambios son indeseables, pero al ser la muerte más temida que la vejez, muchos se consuelan porque, hasta ahora, la única forma de no envejecer es morirse joven.

El final inevitable de la vida, es la muerte. Los griegos le dieron por nombre, *Thanatos*, de donde procede el término tanatología, para el estudio de las condiciones y hechos relacionados con la muerte. Recientemente, se ha puesto en boga la paratanatología con "experiencias" relatadas por personas que han sido declaradas muertas, clínicamente, pero que aviesa o inocentemente, pretenden haber regresado del más allá.

A primera vista, la misma naturaleza parece avergonzarse de la muerte. Basta pensar en los millones de seres vivos pertenecientes a todas las especies que ocupan el planeta, condenados a morir, inexorablemente, y cuyos restos pasan inadvertidos.

De algún modo, parece haber un plan para no hacer ostentación de esos hechos, pues pese a los muchos millones de vidas que terminan, necesariamente, son muy pocos los cadáveres que encontramos en nuestro camino.

Si por accidente, vemos un animal muerto en una carretera sentimos repulsión que, en ocasiones, se acompaña de compasión. Si el cadáver es de un ser humano, los mecanismos de identificación, conscientes y subconscientes, producen efectos mucho más dramáticos.

Esas reacciones parecen justificar los muchos medios a que recurre la naturaleza para borrar las evidencias, mientras cada caso participa, a su vez, en la cadena alimenticia donde la materia muerta es usada para nutrir a los vivos. Eso va desde los cazadores carnívoros hasta las bacterias que descomponen la carroña y la hojarasca.

Tanto los himenópteros como los mamíferos más desarrollados nos ofrecen ejemplos interesantes de conducta ante a la muerte. Una hormiga, al morir, produce señales químicas (feromonas) que inducen a sus compañeras a quitarla del camino.

Cuando los elefantes perciben que van a morir se van a lugares apartados que son sus cementerios. Si acaso alguno muere en un lugar impropio los compañeros lo trasladan a un sitio más discreto. Y, todavía, si un elefante encuentra la osamenta completa de un congénere, se toma el trabajo de dispersar los huesos.

Entre los simios las madres se resisten, a veces, a reconocer la muerte de un hijo. Se las ve, confundidas, llevar el cadáver de la criatura a cuevas sin querer desprenderse de él. Se ha visto, también, que al morir la madre, los hijos pequeños se niegan a seguir el camino con los otros miembros del clan, permanecen al lado del cadáver y mueren de inanición. Por otra parte, es curioso lo que ocurre con los seres unicelulares. Sin la intervención de una noxa que destruya la célula, ésta es prácticamente inmortal. Se reproduce por bipartición y sin dejar un cadáver como residuo de su existencia, se divide, simplemente, en dos seres semejantes a ella y, así, continúa la vida.

Sin embargo, desde el punto de vista evolucionista, la muerte constituye un paso de avance, necesario para preservar la vida.

Muchos se preguntarán: ¿Qué persigue la naturaleza al introducir la muerte?

Y es obvio que, matemáticamente, el planeta no hubiera podido mantener a todos los seres vivos que han pasado por él con sus respectivas descendencias, en una secuencia interminable de reproducción.

Pero cuando llegamos al hombre la muerte representa mucho más, porque nuestra peculiar y exclusiva percepción témporo-espacial incide el continuo espaciotiempo y, así, nos proporciona la noción de lo pasado, lo presente y lo futuro.

Como consecuencia, la muerte nos permite apreciar mejor la vida y le da un significado especial a nuestra existencia.

Eso justifica la innegable importancia de la historia para la civilización.

Es útil señalar que los átomos actualmente presentes en nuestros organismos pueden haber estado, previamente, en otros que vivieron hace miles de años y podrían pertenecer, mañana, a seres que no tendrán la menor relación genética con nosotros.

Porque se impone la inquebrantable unidad del universo.

Antes de que apareciera el biocosmos, las leyes de un mundo puramente físico excluían toda noción de temporalidad.

Era necesario que se produjera el desarrollo asimétrico de los hemisferios cerebrales del *Homo sapiens* para que éste adquiriera su ubicación témporo-espacial característica.

Los animales viven en presente y sólo afrontan la muerte al morir.

La secuencia de sus actos aunque puede anticipar la cercanía de un futuro embrionario, es sólo una extensión del presente sin la noción cognitiva ni la elaboración consciente de lo porvenir.

Pero desde que el hombre tuvo conciencia de cuán efímera era su existencia, ha vivido atemorizado entre una eternidad que le precede al nacer y otra que le sigue al morir. Esa ansiedad se manifiesta, frecuentemente, en las neurosis y en otros intentos menos traumatizantes de no afrontar la verdad aterradora.

Empeñado siempre en esa actitud, recurre a los más pueriles mecanismos de escapada con perseverancia obsesiva. Imagina otra vida en el más allá, inventa la resurrección y la reencarnación, atribuye a sus dioses la inmortalidad que anhela para él, construye pirámides y estatuas con la pretensión de endiosarse él mismo, hasta que, inexorablemente, llega la hora de la verdad.

Entonces, se percató de que por encima de todo lo ambicionado, la feliz aceptación de ese momento final, sin angustias ni temores, constituye el verdadero triunfo.

En esos momentos, lo que se hizo por egoísmo y los bienes materiales acumulados con afán, pueden añadir amargos efectos negativos en el balance que ofrecen las columnas del debe y el haber, asentadas durante la breve trayectoria de la vida. En la primera, aparecen los resultados de nuestros muchos errores, defectos y flaquezas. Mientras en la columna del haber sólo cuentan, verdaderamente, aquellas cosas que hicimos por amor a los demás.



hicimos por amor a los demás.

#### REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

Briggs, John and David Peat, F. Turbulent Mirror.  
Harper & Row 1990.

Crick, Francis. Life Itself. It's Origin and Nature.  
Simon and Schuster. 1981.

Davies, Paul. The Cosmic Blueprint. Simon & Schuster. 1988.

Davies., Paul. The Mind of God. Simon & Schuster. 1992.

Davies, Paul and Gribbin, John, The Matter Myth.  
Simon and Schuster. 1992.

Dawkins Richard. The Blind Watchmaker.  
W.W. Norton. 1987.

Ditto, William L. y Pecora, Louis M. Mastering Chaos  
Scientific American. Agosto 1993

Enciclopedia Britannica. XV Edición. Vol 1.

Edelman, Gerald M. Bright Air, Brilliant Fire.  
Harper Collins Publishers. 1992.

Field, Michael y Golubitsky, Martin. Symmetry in Chaos  
Oxford University Press. 1992.

Gleick, James. Chaos. Making a New Science.  
Viking. 1988.

Gribbin, John and Martin Rees. Cosmic Coincidences.  
Doubleday. 1989.

Iñiguez Pablo. Dialéctica del Biocosmos.  
Edit. Corripio. 1986.

Jones, Roger S. Physics as Metaphor.  
New American Library. 1982.

Kline, Morris. Mathematical Thought From Ancient to Modern  
Times. Oxford University Press. 1972.

Lewin, Roger. Complexity. Life at the Edge of Chaos.  
Macmillan Publishing Company. 1992.

Mayr, Ernst. Toward a New Philosophy of Biology.  
Harvard University Press. 1988.

Sagan, Carl. The Dragons of Eden.  
Ballantine Science. 1977.

Schrödinger, Erwin. What is Life? The World of Physics.  
Simon and Schuster. 1987.

Schwinger, Julian. Einstein's Legacy.  
Scientific American Library. 1986.

Scientific American  
Agosto 1993.

Waldrop, Mitchell M. Complexity.  
The Emerging Science at the Edge of Order and Chaos.  
Simon & Schuster. 1992.

Wright, Robert. Three Scientists and Their Gods.  
Harper and Row. 1988.

## EL REDUCCIONISMO

### LA FISICA INCURSIONA EN LA BIOLOGIA.

Al adquirir sus primeros conocimientos acerca del mundo microscópico, el hombre creyó estar en el camino correcto para descifrar los misterios de la vida. Los avances tecnológicos en la fabricación de microscopios cada vez más eficientes alentaban su optimismo. Pudo reconocer la célula, a la que calificó, erróneamente, como "elemento anatómico" sin imaginar cuán compleja era esa entidad, tanto en el aspecto estructural como en el funcional. Distinguió el núcleo, el protoplasma y la membrana. La etimología griega, en la denominación del segundo componente, (proto=primero) denunciaba su afán en la búsqueda del origen de la vida. Pero el estudio de la célula mediante la microscopía óptica, dejó al hombre frustrado en su quimérica persecución del evasivo secreto, porque las longitudes de onda de la banda visible del espectro electromagnético son mayores que las dimensiones de las estructuras intracelulares.

El hombre, sin embargo, acosado por su insaciable curiosidad buscó mayor poder de resolución e inventó el microscopio electrónico. Pudo ver, entonces, unas minúsculas formaciones que habían permanecido ocultas en el interior de la célula y que hoy se conocen por *organellas*". \* Pero el conocimiento de esas diminutas entidades

---

\*En español no existe "organello" ni organelo y el término organillo corresponde a un instrumento musical. Por tanto, es preferible usar "organellas", como se ha hecho en inglés, aunque sea latinizado.

y de sus actividades fisiológicas no ha sido suficiente para acercarnos a la anhelada meta. El Reduccionismo va más allá de las estructuras orgánicas microscópicas y pretende explicar la vida a nivel de las partículas subatómicas. Mientras tanto, se conocieron células de características muy primitivas donde, todavía, la cromatina nuclear no había logrado concentrarse para formar una estructura determinada, sino que estaba dispersa en el protoplasma. A esas células se las llamó procarióticas (del griego Karyon=nudo). Luego aparecen las eucarióticas, en las cuales se ha formado ya el núcleo con la concentración de la cromatina originalmente dispersa. Esa tendencia a la centralización de lo estructural y lo funcional se manifiesta con frecuencia en el proceso evolucionista.

Ocurrió lo mismo con los cloroplastos portadores de la clorofila y con las primeras estructuras destinadas a percibir los cambios que se producían en el ambiente. Inicialmente, éstas se encontraban dispersas en el interior de la célula, luego adquirieron una organización de aspecto filiforme y, en una etapa más avanzada, apareció un nódulo ubicado en uno de los extremos. Ese nódulo representaba el punto de partida para que un día se formara el cerebro.

#### ¿COMO EMERGIO LA CELULA EUCARIOTICA?

La bióloga norteamericana, Lynn Margulis, ha hecho importantes innovaciones y ha dado impulso a la teoría simbiótica para explicar la aparición de la célula eucariótica. Ella mantiene que después de existir una considerable variedad de células procarióticas, se produjeron asociaciones simbióticas sucesivas de bacterias primiti-

vas y, de ese modo, se formaron las células eucarióticas. Esas bacterias primitivas que una vez fueron entes separados, están representadas, hoy, por las ya citadas *organellas*. Entre ellas pueden reconocerse, primordialmente, las mitocondrias y los cloroplastos.

La idea había sido introducida desde 1893 por el biólogo alemán A. Schimper, quien atribuyó la capacidad de fotosíntesis a la inclusión en la célula vegetal de las entonces llamadas algas "azulverde" que hoy se conocen por *cianobacterias*.

A principios de este siglo, el anatomista americano Ivan Wallin y el biólogo ruso Konstantin S. Mereschovsky llegaron, independientemente, a la misma conclusión. Pero transcurrieron tres cuartos de siglo sin que esos conceptos fueran aceptados. Todavía en la década del 1970, el profesor Richard Klein, de la Universidad de Vermont, decía que la idea de atribuir la presencia de las mitocondrias y los cloroplastos en el interior de la célula a un proceso simbiótico, "era una mala moneda que había circulado demasiado tiempo y que carecía claramente de soporte químico, estructural y filogenético." Hasta hace poco se enseñaba que las organellas se generaban por desprendimiento de materia nuclear cuyas funciones surgían ulteriormente. Pero cuando se avanzó lo suficiente en el conocimiento del ADN se pudo demostrar que las mitocondrias poseen un ADN similar al de las bacterias genóforas y diferente al que contiene el núcleo; mientras el ADN de los cloroplastos y el ADN de las cianobacterias son similares. Por otra parte, los trabajos de John Holland y Robert Axelrod, ya mencionados, le dan un soporte indirecto, pero significativo, a la concepción simbiótica. Dicho de otro

modo, según esta versión muy favorecida en la actualidad por los biólogos, los seres vivos estarían divididos en bacterias (entidades procarióticas) y todos los demás organismos constituídos por células eucarióticas. Según Margulis, la célula eucariótica se formó hace 2,000 millones de años y, en la actualidad, al ser tan perfecta la integración de todas sus partes, resulta imposible demostrar que, *in illo tempore*, sus componentes fueron bacterias independientes. Las mitocondrias y los cloroplastos tienen, por tanto, capacidad para reproducirse por su propia cuenta, aunque en sinergismo con el ADN del núcleo. Unos consideran que todas las mitocondrias descienden de la línea genética materna. Aunque las células espermáticas contienen mitocondrias en la base de la cola, para suministrar la energía que requiere su actividad kinética, se alega que dichas mitocondrias no penetran en el óvulo durante la fecundación. Para otros, un porcentaje reducido de mitocondrias es de origen espermático.

#### REPRODUCCION DE LA CELULA.

La célula se reproduce por bipartición; una se convierte en dos, de esas dos se forman cuatro, de las cuatro ocho y al llegar a 20 subdivisiones sucesivas, la descendencia de la primera alcanza cifras de millones. Esto sucede en un tiempo tan corto que parecería inconcebible lo que podría ocurrir en condiciones hipotéticas que permitieran mantener el curso ininterrumpido de los acontecimientos en esa dirección. Una sola bacteria en el transcurso de una hora se divide en dos bacterias. Diez horas después habría unas 1,000. Vein-

te horas más tarde, la población bacteriana alcanzaría más de un millón de células, puesto que teóricamente, cada célula se divide en un período de 60 minutos. Si el ritmo se mantuviera a ese nivel con el aporte necesario de nutrientes y sin condiciones ambientales adversas capaces de frenarlo, en menos de una semana, el número de células superaría la expresión  $2 \times 10^{44}$ , lo que equivaldría a una masa mayor que la masa terrestre.

Si pensamos que cada bacteria sólo pesa fracciones de millonésimas de miligramo podemos adquirir una idea de la magnitud de esa cifra.

#### DESARROLLO ESTRUCTURAL DEL ORGANISMO VIVO.

Aunque el crecimiento y la reproducción son atributos relevantes de la célula, hay otros aspectos particularmente interesantes. El Biocosmos es una entidad orientada por un programa intrínseco de información y con tendencia a la formación de estructuras cada vez más complejas, de donde emergen cualidades imprevistas estimuladas por las condiciones del entorno.

Cuando las células se reproducen y permanecen unidas en vez de seguir cada una por su camino, suelen adquirir nuevas características estructurales que inducen a la organización y cuya orientación espacial dependerá de sus relaciones con el ambiente circundante.

Así, se forman tejidos, órganos, sistemas y organismos tan complicados como los pertenecientes a las especies más avanzadas en la escala evolucionista, hasta llegar al hombre.

### IMPORTANCIA BIOLÓGICA DE LA MOLECULA

Durante mucho tiempo se atribuyó a las proteínas el papel primordial en los fenómenos biogénicos hasta que el descubrimiento de la fórmula tridimensional de la molécula del ADN y las implicaciones funcionales del código genético, establecieron la interacción de ambos componentes. Desde entonces, los ácidos nucleicos adquirieron su propia jerarquía como encargados de perpetuar la vida, y al conocerse la estructura molecular del gene, se hizo inevitable la convergencia de la física con los procesos vitales. *La biología molecular constituye la máxima expresión del reduccionismo.* En ella, el estudio de las estructuras morfológicas se extiende a las moléculas y a los átomos que participan en la constitución de la materia viva. Como veremos al estudiar la hemoglobina, es posible establecer en muchos procesos biológicos las actividades fisiológicas propias de las moléculas y de los átomos que las componen.

No puede negarse, por ejemplo, el impacto que produjo el descubrimiento de *la primera enfermedad molecular* cuando Linus Pauling logró explicar el mecanismo de la anemia falsocítica, escrito en una servilleta mientras conversaba en un banquete ceremonial. En este caso, la alteración molecular responsable del proceso patológico consiste en la substitución del residuo de ácido glutámico en la porción 6 de la cadena beta por valina; la presencia de otra valina en la posición 1 produce una asociación hidrofóbica que contribuye a la deformación de los eritrocitos.



## LA ACTINA.

Esta es una molécula proteínica de poca nombradía que ofrece, sin embargo, aspectos interesantes. Hay una forma globular y otra fibrosa. La última es un polímero de la primera y constituye, un ejemplo, de las denominadas proteínas "oligoméricas."

Esto implica, por definición, una estructura molecular integrada por dos o más cadenas de polipéptidos; esas cadenas se conocen como subunidades o "monómeros." Los filamentos de la actina están formados por dos monómeros de la forma globular, abrazados helicoidalmente el uno con el otro. La actina se asocia a la miosina para formar la actomioisina, que posee mayor viscosidad, es más birrefringente y se disocia en presencia del ATP (trifosfato de adenosina), y del magnesio (Mg). Consecuentemente el ATP se hidroliza y mientras se forma ADP (difosfato de adenosina) la actina y la miosina se reagrupan de nuevo. En el mecanismo de locomoción de la amiba *Acanthamoeba castellanii* participa una proteína similar a la actina. Se ha demostrado que esa proteína tiende a asociarse con la miosina del conejo para formar un complejo híbrido de actomiosina. Desde el punto de vista evolucionista la actina de la *Acanthamoeba* tiene una composición de aminoácidos muy similar a la que contiene la actina de los músculos del conejo y se infiere que estas moléculas de dos especies tan distantes tienen un origen común y han sufrido muy pocos cambios en el proceso evolucionista.

Esto hace pensar que la actina está presente en todas las células animales eucarióticas.

Una proteína muy similar a la actomioisina ha sido aislada en el cerebro de los mamíferos, donde parece estar asociada a las vesículas sinápticas que segregan los neurotransmisores. Las plaquetas de nuestra sangre, cuya capacidad de contracción y de emitir pseudópodos es fundamental en la retracción del coágulo, deben esa actividad fisiológica a la presencia de actina y miosina muy similares en peso molecular y polimerización a la actina y miosina del músculo.

El *Physarum polycephalum* que crece en el fango vegetal contiene una forma de actina semejante a la que posee nuestra musculatura esquelética.

#### LA TUBULINA.

La microscopía electrónica ha permitido distinguir en el interior de las células, tanto vegetales como animales, la existencia de "microtúbulos" huecos que presentan gran variedad en su distribución y organización y que intervienen en la configuración y en la actividad funcional de las células. Están constituidos por moléculas de tubulina, que es una proteína globular formada por dos monómeros entrelazados con orientación helicoidal y que dejan entre sí el espacio hueco de los túbulos. La tubulina ha sido aislada, también, en el cerebro y se han establecido estrechas relaciones estructurales entre la actina y la tubulina; se ven en el axon de la neurona, en las pestañas vibrátiles, en los flagelos de las células eucarióticas y en la cola de los espermatozoides.

En los fibroblastos representan medios de transporte para los derivados de prolina que deben llegar a los espacios extracelula-

res para constituir las fibras de colágeno. Este mecanismo es importante en el proceso patológico propio de la cirrosis hepática, por lo cual, la existencia de los microtúbulos ha adquirido importancia terapéutica.

La colchicina es un alcaloide que se extrae del Cólchico y tiene la facultad de inhibir la formación de esos microtúbulos. Por tanto, interfiere con el depósito de colágeno necesario para el progreso de la fibrosis tan lesiva a la integridad estructural y a la actividad fisiológica del parénquima. Estimula, además, las colagenasas intrahepáticas y refuerza, así, la actividad antifibrótica descrita. Otras sustancias, como la "Vinblastina" y la "Vincristina," tienen, al igual que la colchicina, una acción inhibitoria de la división reproductiva de las células eucarióticas. Estas sustancias, por poseer esa propiedad, se han usado en el tratamiento de algunas formas de cáncer que poseen crecimiento acelerado.

Durante siglos los médicos han prescrito la colchicina para aliviar los dolores característicos de los ataques agudos de gota por acumulación de ácido úrico. Sin embargo, al no poseer la colchicina verdaderas propiedades analgésicas ni contribuir a la eliminación del ácido úrico, la eficacia de la droga llega a ser desconcertante. Este fármaco alivia, además, la molesta disfagia que produce la escleroderma, mientras que por otra parte es un tóxico capaz de provocar vómitos y cólicos severos; asimismo, usada a largo plazo a dosis terapéuticas, y hasta en dosis muy pequeñas, inhibe la absorción de la vitamina B12. Sin duda, las interacciones moleculares propias del biocosmos son complejas.

### LA CLOROFILA.

Esta representa una de las moléculas de mayor importancia biológica. Desde la infancia conocemos que la clorofila es un pigmento de vital importancia que se encuentra en las plantas, pero son muchos los detalles que pasan inadvertidos. Sabemos que la clorofila participa en la fotosíntesis, mediante la cual las plantas aprovechan la energía de la luz solar para formar carbohidratos a partir del agua y el anhídrido carbónico. Este hecho convierte al reino animal en parásito del reino vegetal y todavía podemos agregar que el 90% de la energía que utiliza el hombre procede de la luz solar transformada por la clorofila, pues el petróleo, el carbón de piedra, el gas natural, etc. son todos productos biológicos fósiles, derivados de la fotosíntesis que tuvo lugar en la superficie del planeta hace millones de años. Existe una difundida, pero errónea creencia, de que la fotosíntesis es un privilegio de las plantas muy avanzadas en el proceso evolucionista, pero, contrariamente, más del 50% de la fotosíntesis que tiene lugar en el planeta es realizada por las algas microscópicas, las diatomáceas y dinoflagelados que constituyen el *phytoplanktum* de los océanos.

La capacidad de realizar fotosíntesis es común a una amplia variedad de organismos tanto procarióticos como eucarióticos, y aunque los primeros representan las formas de vida más primitivas, su papel en la biosfera es importante y proporcionan, además, conocimientos muy útiles en las investigaciones de laboratorio. Entre ellos se encuentran las ya mencionadas cianobacterias.

Las bacterias verdes sulfurosas y las purpúreas son, a su vez, muy activas en los procesos de transformación ambiental. Las primeras pueden vivir como elementos unicelulares independientes o en colonias; abundan en el suelo, en las aguas dulces y en el mar. Pueden alimentarse con sólo aprovechar el  $\text{CO}_2$  (anhidrido carbónico), aunque algunas son capaces de fijar el nitrógeno del aire.

Las bacterias sulfúricas son anaerobias estrictas, y el color verde que reflejan algunos lagos se debe a una bacteria sulfurosa del género *Chlorobium*. Otras bacterias no sulfúricas requieren, para subsistir, moléculas orgánicas como el etanol, isopropanol, etc.

En las células eucarióticas el aparato encargado de la fotosíntesis está ubicado en los cloroplastos. Estas *organellas* son propias de las células vegetales y su número, por cada célula, varía desde uno hasta cuarenta. En su interior contienen la clorofila.

De hecho, existen varios pigmentos conocidos como *clorofilas*. En su mayoría son de color verde, pero existen células con capacidad de fotosíntesis cuyos colores van desde el rojo al marrón o al púrpura. Esto se debe a pigmentos calificados de "accesorios" que, como los caroténicos, pueden ser amarillos, rojos o purpúreos; y las phycobilinas que pueden ser de color azul o rojo.

Las plantas muy evolucionadas tienen dos tipos de clorofila, conocidos como (a) y (b). La estructura de la clorofila (a) fue establecida por H. Fischer, en Alemania, en 1940; y luego confirmada de manera inequívoca por R.B. Woodward en 1960. Esta clorofila es una porfirina con un magnesio (Mg) unido a los cuatro átomos centrales de nitrógeno para formar un complejo muy estable.

La molécula tiene, además, una larga cadena lateral terpenoide hidrofóbica, que contiene un alcohol, phytol, esterificado a un ácido propiónico del anillo IV. Al separar el phytol mediante la acción de la clorofilasa (una enzima hidrolítica), se obtiene como residuo la *clorofilide (a)* que constituye un intermediario importante en la biosíntesis de la clorofila.

Mediante el espectro de acción fotoquímica se ha logrado demostrar la eficiencia de absorción de la luz en las diferentes longitudes de onda de la porción visible del espectro para cada pigmento. Los pigmentos accesorios (carotenoides y phycobilinas) tienen una absorción máxima de luz en longitudes de onda diferentes a las longitudes en que actúa la clorofila, y sirven como receptores complementarios de la energía correspondiente a porciones del espectro con las cuales la clorofila no interacciona.

Se ha sugerido que la absorción de luz en las frecuencias de onda correspondientes a los llamados pigmentos accesorios, pueda proporcionar un mayor rendimiento de la energía que el obtenido por la clorofila. Pero cuando esos pigmentos absorben la energía procedente de las longitudes de onda con que interaccionan, dicha energía tiene que ser transferida, como un estímulo destinado a excitar las moléculas de clorofila con lo cual se completa el mecanismo de la fotosíntesis. En otras palabras: La clorofila es imprescindible en el proceso y los demás pigmentos son aditamentos complementarios; pero de ningún modo deben considerarse competitivos. Los pigmentos carotenoides localizados en los cloroplastos se dividen en carotenos y xantofilos. Los primeros no contienen oxígeno mientras que

los segundos contienen este elemento en sus anillos terminales. El caroteno más común es el beta caroteno, muy conocido por su participación en la estructura molecular de la vitamina A. Puede citarse la pigmentación amarilla que adquiere la piel (sobre todo a nivel de las palmas de las manos y las plantas de los pies) por acumulación tisular del pigmento debido a la ingestión excesiva de zanahoria, lechosa, ahuyama, etc. El profano confunde esa condición con la ictericia y consulta por temor a las enfermedades hepáticas. Es muy fácil hacer la diferenciación diagnóstica, pues la simple observación clínica muestra que las conjuntivas oculares no adquieren la decoloración amarilla en caso de carotinemia, mientras ocurre lo contrario en las ictericias hepatocelulares y obstructivas. Con la bilirrubinemia se completa la diferenciación. Los pigmentos phycobilínicos aparecen en algas rojas o azul-verde, pero no en plantas de alta jerarquía evolucionista. Son tetrapirroles lineales, a diferencia de la clorofila, cuyos núcleos pirrólicos tienen disposición cíclica. Además, las phycobilinas carecen de magnesio.

Antes de entrar en los detalles correspondientes a la *hemoglobina* vale la pena detenernos para hacer algunas observaciones.

Según señalan Sidney W. Fox y Klaus Dose en su reconocida obra "Molecular Evolutions and the Origin of Life (1972), la mayoría de los autores que estudian la evolución de los sistemas biológicos (Oparin, 1953, 1962; Gaffron, 1960, Calvin 1959, Sagan 1961), concluyen que las *porfirinas* han requerido por lo menos dos etapas en su evolución: 1. Orientada a la fotosíntesis. y 2. Hacia la respiración.

La primera tuvo que ser de aparición muy temprana y los estudios con fósiles la ubican desde hace 2,000 millones de años. La segunda se desarrolló cuando los niveles de oxígeno atmosférico fueron suficientemente elevados y su inicio se calcula en 600 millones de años.

Los *pirroles*, emergieron como precursores de las porfirinas, temprana y espontáneamente, en la fase prebiótica de la Tierra al igual que una gran variedad de compuestos orgánicos.

La similitud estructural de dos moléculas con actividades fisiológicas tan distantes y de tanta trascendencia como la clorofila y la hemoglobina, nos hace pensar que al surgir una estructura molecular debido a la auto-organización de los sistemas complejos, la capacidad de interacción de dichas moléculas determinará los atributos que posteriormente caracterizarán a los procesos fisiológicos.

Esos mecanismos, desde luego, dependerán de la interacción con el ambiente y lejos de la simplificación esquemática que tradicionalmente han pretendido ofrecer las concepciones científicas, hoy se hace necesario afrontar la complejidad que predomina tanto en el interior de los organismos vivos como en su entorno.

Recordemos que para los griegos la circunferencia era la curva perfecta y el firmamento era regido por esferas de cristal. Esas ideas fueron desplazadas cuando Kepler (quien también creía en la armonía de las esferas celestes), demostró que las órbitas de los planetas en nuestro sistema solar eran elípticas. A niveles más abstractos cabe señalar que la geometría plana de Euclides resulta inoperante en el espacio curvo Riemanniano que requiere la teoría



general de la relatividad. Hoy, hallamos formaciones en espiral o helicoidales tanto en el macrocosmos como en múltiples estructuras moleculares. Millones de galaxias ostentan esa disposición; en el Biocosmos abundan las moléculas que como el ADN y las mencionadas proteínas oligoméricas ofrecen el mismo aspecto. Los remolinos de las turbulencias caóticas pululan en la naturaleza.

Además de complejas, las relaciones de las estructuras moleculares con los procesos biológicos muestran aspectos que abren curiosas interrogantes. Como vimos al hablar de las enzimas, dos moléculas isómeras se comportan de manera muy diferente en sus actividades bioquímicas.

Es interesante añadir, a este respecto, que salvo raras excepciones, como es la presencia de L-Fucosa en las algas marinas, los azúcares biológicamente activos son siempre de tipo dextrogiro, mientras que los aminoácidos son de rotación izquierda.\*

Sin embargo, en el hígado y en los riñones existe en abundancia una D-amino-oxidasa, que según lo dicho en el párrafo anterior no parecería tener justificación por falta de sustrato. Es tal la sensibilidad de los organismos a la isomería molecular, que la gramicidina, por ejemplo, debe su acción antibiótica a la presencia de un

---

\*Originalmente la denominación dextro y levo de los compuestos químicos se relacionaban con la desviación de la luz polarizada, pero en la actualidad se refiere a la dirección en que deberían rotar los otros grupos químicos de una molécula para encontrar al grupo principal.

aminoácido derecho en su estructura. Y aunque parezca difícil de admitir, esa preferencia por la asimetría es la que determina la existencia de un universo con las características del nuestro, pues si las cantidades de electrones y positrones se hubieran mantenido en paridad, ambos se habrían aniquilado y el universo consistiría, solamente, de radiaciones energéticas sin la estructuración de la materia que hoy contiene.

Se ha hecho evidente, además, que los esquemas simplificados no pueden representar la realidad biológica ni la del mundo que nos rodea y por tal motivo, se han intensificado los esfuerzos en la investigación de los sistemas dinámicos, propios de las complejidades y de las situaciones caóticas. Como ya hemos visto, muchos investigadores trabajan hoy con ecuaciones no lineales, auxiliados por la computadora y, de ese modo, se ha logrado penetrar en terrenos donde la física encontraba barreras insalvables.

Se acepta, asimismo, que nuestra imagen del universo es creada con la proyección que hace el privilegiado cerebro del Homo sapiens, después de elaborar la percepción de los estímulos externos mediante los órganos sensoriales y añadir nuestras abstracciones intelectuales.

¡Qué diferente es nuestro universo de hoy!

¡Cómo ha transformado el cerebro del Homo sapiens las proyecciones de esas percepciones!

¡Y cómo actúa la acumulación progresiva de conocimientos para alcanzar abstracciones cada vez más profundas y permitir la creación de nuevas y atractivas metáforas!

La lista de los insignes contribuyentes en el curso de la historia, sería interminable. Pero, a veces, un tema de estudio se identifica, inevitablemente, con el nombre de un gran investigador.

#### LA HEMOGLOBINA.

El nombre asociado a ella, es el de Max Ferdinand Perutz, nacido en Viena en el año 1914.

Perutz, dedicó casi medio siglo de su existencia al estudio de la hemoglobina; sin embargo, él mismo dice que esa prolongada dedicación al estudio de tan cautivadora molécula, tuvo un origen casi accidental. Dio sus primeros pasos en los terrenos de la química orgánica en una institución dirigida por Ernst Späth, austriaco, pero de hechura netamente teutónica, imagen del tirano de laboratorio, propio de su época. Uno de sus campos preferidos era el de los alcaloides. Para Max Perutz, el tema resultaba muy aburrido y el ambiente retrógado.

Ya se habían descubierto las enzimas, James Sumner había cristalizado la ureasa y en 1926 abrió el camino que condujo al esclarecimiento de la naturaleza proteínica de las enzimas. Su efecto catalítico era estudiado en todas partes, pero, prácticamente, sus propiedades no se conocían en Viena.

Los detalles correspondientes a este importante episodio nos lo ofrecen David Dressler y Huntington Potter, en su obra "Discovering Enzymes" que fue nuestra fuente principal de información en lo concerniente al aspecto histórico de las enzimas.

En 1927, Richard Martin Willstätter (1872-1942) ganador del Premio Nobel de química en 1915, llegó a la Universidad de Cornell como Profesor Invitado Distinguido. En sus ponencias hizo énfasis en la ausencia de componentes proteínicos en la purificación de la invertasa que él había realizado. Reiteraba su convicción de que las enzimas eran pequeñas moléculas con efecto catalítico, incrustadas en un vehículo coloide.

El papel del supuesto vehículo coloide era proteger a la enzima y "organizarla," pero la fuerza catalítica residía en la hipotética micromolécula. En la audiencia se encontraba un joven profesor asistente cuya presencia no fue advertida por Willstätter y que ya había publicado un trabajo acerca de las enzimas que tampoco había causado ninguna sensación. Ese joven, retraído, que siendo zurdo, había perdido el brazo izquierdo en un trágico accidente a la edad de 17 años, era James Sumner. Su trabajo estaba destinado a desplazar la teoría del distinguido profesor invitado y, posteriormente, a la obtención del Premio Nobel.

El procedimiento fundamental de investigación utilizado por Sumner fue la cristalografía y como ya se dijo, llegó a cristalizar la ureasa que, de ese modo, se convirtió en la primera substancia con actividad enzimática obtenida en estado de pureza. La pequeña duda residual mantenida por las proposiciones de Willstätter, fue eliminada diez años después, con los trabajos realizados por John Northrop y M. Kunitz en el Rockefeller Institute. Como consta en el capítulo de las enzimas, ellos lograron la cristalización de la pepsina, la tripsina y la quimotripsina.

En 1934, mientras asistía a un curso acerca de "compuestos orgánicos con interés biológico", Perutz se enteró de que las vitaminas estaban siendo estudiadas en el laboratorio de bioquímica, Gowland Hopkins, en Cambridge, y pensó que en ese ambiente podría hallar un buen tema para su disertación con opción al doctorado.

En el verano del 1935 supo que Hermann Mark, profesor de química física, en Viena, asistiría a una convención de la Sociedad Faraday, en Cambridge, y le pidió que tratara de conseguirle una posición como estudiante en el departamento de investigación de ese lugar. Sin embargo, cuando a su regreso Perutz le preguntó por el resultado de la diligencia solicitada, Mark le confesó que la había olvidado por completo; pero añadió que había conversado con Desmond Bernal, jefe del departamento de cristalografía radiológica, y que éste le manifestó el deseo de preparar a un estudiante.

Perutz le contestó que él no sabía nada de rayos X ni de cristalografía y Mark se limitó a decirle: "Ya aprenderás, muchacho".

De ese modo llegó a Cambridge en 1936. Pensaba que trabajaría con cristales de sustancias orgánicas, pero solamente encontró "horribles cristales minerales, de un compuesto llamado rhodonita, formado de hierro y silicón". Su desconsuelo fue enorme, pero se mantuvo cerca de un año dedicado a esas labores y a otros estudios con material radioactivo. Esa fue su introducción a la técnica de la cristalografía que en aquellos momentos compartían mundialmente las siguientes escuelas: Sir William Bragg, en la Royal Institution; Sir Lawrence Bragg, en la Universidad de Manchester; Linus Pauling, en el California Institute of Technology; y Desmond

Bernal, en Cambridge. Era, básicamente, la aplicación inicial de la cristalografía a minerales, pues entonces, a duras penas, se esbozaban los primeros trabajos con sustancias orgánicas. Entre los pioneros en esa rama, hay que mencionar a William Astbury y al mismo Bernal. En su trabajo "Hemoglobin Structure and Respiration Transport", (Scientific American, Dic. del 1978), Perutz llama a Bernal, "el Gran Sabio de Cambridge", que trabajaba en instalaciones sucias y paupérrimas, pero iluminadas por su brillantez.

Perutz habló una vez con Rutherford acerca de su trabajo, pero a éste nunca le interesó la biología. Sin embargo, Perutz supo desde el primer momento que "Cambridge era el lugar donde deseaba pasar la vida". En esa época muy pocos afortunados obtenían el soporte económico necesario para realizar sus estudios; no existían las generosas donaciones (grants) que hoy llevan a los estudiantes debidamente calificados de un lugar a otro para ampliar sus conocimientos. Perutz pudo estudiar con relativa tranquilidad gracias a la ayuda económica que le proporcionó su padre.

En el verano del año 1937 regresó a Viena, de vacaciones, y en el mes de septiembre visitó a Felix Haurowitz, un joven profesor de química fisiológica, especialista en proteínas, que se había casado con una prima de Perutz y residía en Praga. Durante una conversación en que le pedía consejo para orientar sus estudios surgió el tema de la hemoglobina.

Originalmente, Perutz tuvo la idea de determinar la estructura molecular de la hemina, esto es, el cloruro del heme, separado de la porción proteínica de la molécula de hemoglobina.

Haurowitz estudiaba la química de la hemoglobina desde principios de los años veinte y convenció a Perutz de que la hemina no era interesante. Se trataba de una molécula pequeña, que formaba al oxidarse cristales de color marrón rojizo. Su química ya era conocida y su estudio no constituía un gran desafío ni prometía logros extraordinarios.

Haurowitz le hizo ver que la verdadera meta debía consistir en determinar la estructura molecular de la hemoglobina completa; le recomendó ver a Gilbert Adair, un fisiólogo de Cambridge cuyos trabajos acerca de la hemoglobina eran meritorios. Adair, además de tratarlo con fina cortesía le obsequió con unos cristales muy apropiados para la cristalografía mediante rayos X.

Conjuntamente le llegaron a Bernal unos cristales de la enzima "quimotripsina" enviados por John H. Northrop, a cuya labor en el Instituto Rockefeller ya se hizo referencia en el capítulo de las enzimas. Perutz dividió su tiempo en el estudio de las dos sustancias, pero debido a las dificultades técnicas que ofrecía la estructura molecular de la quimotripsina decidió dedicarse por completo a la hemoglobina. De ese modo, en 1937, Perutz tuvo en sus manos dos grandes temas de investigación científica. Uno consistía en la física de la cristalografía con los rayos X y el otro la fisiología de la hemoglobina.

Sin embargo, su preparación académica no era la adecuada para ninguna de las dos tareas. He aquí sus palabras: "Yo no sabía casi nada. Nunca había tomado un curso de bioquímica. Era un simple químico y había pasado mi primer año en Cambridge aprendiendo cristalografía."

A continuación, agrega: "Es posible que la hemoglobina me hubiera despertado algún interés particular, pero en esos momentos lo que todo el mundo veía como problema principal, era la estructura de las proteínas, sin importar de qué proteína se tratara.

Hasta entonces, ningún cambio estructural en la molécula de hemoglobina había sido relacionado con su actividad fisiológica.

Pero, por otra parte, Perutz señala que ya había aprendido algo acerca de las enzimas y que había adquirido de Bernal la idea de que era posible determinar el mecanismo de acción de una enzima si, previamente, se establecía su estructura química.

Esa idea de Bernal se adelantaba en más de veinte años al sueño de cualquier enzimólogo.

Todavía en la época de los treinta, en Cambridge no se hablaba de los ácidos nucleicos y la búsqueda del secreto de la vida se detenía en el umbral de la actividad enzimática.

La hemoglobina fue la primera proteína obtenida en forma cristalizada, y sus cristales fueron estudiados noventa años antes de los trabajos de James Sumner que culminaron en la cristalización de la ureasa.

En 1851, Otto Funke, de Leipzig, diseñó un sistema para obtener cristales, deliberadamente. En 1853, L. Teichmann, usando el método de Funke, encontró los cristales de color marrón rojizo de una sustancia no proteínica que contenía hierro; la llamó, hemina. La porfirina cuya relación estructural con los pirroles ya fue mencionada, procede de un compuesto tetrapirrólico, llamado porphin.



La función fundamental de la hemoglobina es transportar el oxígeno en los vertebrados y algunos invertebrados, pero en muchos de éstos esa actividad está a cargo de la hemocianina, en cuya molécula, el metal asociado es el cobre. Vale la pena señalar que Richard Dawkins, en *The Blind Watchmaker*, una de las obras más estimulantes que se hayan escrito en defensa del darwinismo, refiere que en el ser humano pueden individualizarse ocho genes encargados de producir las globinas y que están repartidos en diferentes cromosomas. Todo parece indicar que los ocho son copias de un mismo original, ancestral, y que hace cerca de 1,100 millones de años, ese gene primordial se duplicó y dio origen a dos ramas diferentes de globinas. Una, es la responsable de todas las hemoglobinas de los vertebrados; la otra es la productora de la mioglobina. Luego, por duplicaciones subsiguientes, surgieron las formas denominadas: beta, gamma, delta, épsilon y zeta.

Es interesante, además, que la secuencia cronológica de esos acontecimientos puede ser determinada con objetividad. La épsilon y la gamma, por ejemplo, se separaron hace 100 millones de años, mientras que la beta y la delta, lo hicieron hace unos 40 millones de años. Sin embargo, todas están presentes en cada uno de nosotros, aunque localizadas en diferentes partes de los cromosomas ancestrales.

Independientemente de los mecanismos de bifurcación, la presencia de un gene puede explicarse, también, por incorporación de material procedente de otras especies en la misma forma que, según la teoría de Margulis, se formó la célula eucariótica.

Eso explica que en las raíces de algunas familias de guisantes se encuentre, inesperadamente, la hemoglobina. Ninguna otra planta la contiene, y en ese caso excepcional, se interpreta que hubo el traspaso de un gene animal, quizás, por contaminación con la participación de un virus como agente intermediario.

En 1864, Felix Hoppe-Seyler, en Tübingen, le dio el nombre de hematoglobulina o hemoglobina al pigmento proteínico cristalizado de la sangre. Prevalció, así, el nombre más corto y se perpetuó hasta nuestros días.

La molécula tiene dos componentes: 1.- El heme (cuyo significado en griego es sangre) y que corresponde a la parte roja, no proteínica, contentiva del hierro y 2.- La globina, una proteína incolora que completa la interesante estructura. Esa hemoglobina, al igual que la actina y la tubulina, ya mencionadas, es una proteína oligomérica con cuatro cadenas de polipéptidos unidas muy estrechamente hasta formar un conjunto globular de extraordinaria estabilidad a pesar de que no existen valencias de unión entre ellas. En su configuración molecular se encuentra el mismo anillo porfirínico que posee la clorofila, pero en vez del magnesio que vimos en ésta, el metal de la hemoglobina es el hierro. Ambos elementos se mantienen en la porfirina mediante cuatro ligaduras.

Ahora bien, antes de llegar a esta etapa se produjeron hechos que merecen ser relatados. Hoppe-Seyler hizo estudios espectrográficos con la hemoglobina y aprovechó su identificación en aplicaciones forenses. Inició, además, el camino que condujo a relacionar los cambios de aspecto de la hemoglobina con su contenido en

oxígeno y, prácticamente, estableció la especificidad funcional del pigmento en el mecanismo de la respiración. Algunos de sus trabajos cayeron en manos de George Gabriel Stokes, de Cambridge, brillante físico, Secretario de la Royal Society y Profesor Lucasian de Matemáticas.

En el mismo año de 1864, Stokes profundizó los estudios espectrográficos, relacionó de manera inequívoca los cambios de apariencias de la sangre y los cambios de las líneas del espectro con la presencia del oxígeno; pero, por falta de información acerca de los últimos trabajos de Hoppe-Seyler quiso, acuñar para la hemoglobina, inutilmente, el nombre de *crucorina*. Aunque Stokes habló de oxidación tuvo, al igual que Hoppe-Seyler, la agudeza de observar la fragilidad de la combinación.

En 1909, Edward Tyson Reichert, fisiólogo de la Universidad de Pennsylvania y Amos Peaslee Brown, publicaron el formidable volumen intitulado "The Crystallography of Hemoglobins" y adelantaron el criterio de establecer las relaciones genéticas de las especies en la escala evolucionista mediante el estudio de la hemoglobina. Desde luego, no existía, ni en sueños, la tecnología necesaria para confirmar esas ideas. Según se explicó en el capítulo dedicado a las enzimas, sólo 70 años después, los trabajos de Frederick Sanger y Pehr Edman permitieron establecer las secuencias de los aminoácidos y pudo medirse, entonces, el grado de similitud existente entre las moléculas de proteínas. Ya vimos, también, que eso le valió a Sanger, en 1958, el primero de los dos Premios Nobel que recibiera. Más tarde, al conocerse las secuencias de los nucleótidos en

el ADN, fue posible demostrar las relaciones genéticas entre las especies y su significado desde el punto de vista evolucionista.

Por otra parte, debe señalarse que el papel del hierro encierra aspectos cuyo significado era difícil de explicar.

La conducta de diferentes elementos metálicos al participar en las reacciones químicas varía con la disposición de los electrones periféricos de sus átomos.

Las variaciones en el comportamiento de esos electrones influye, también, en su conductividad eléctrica, en sus propiedades magnéticas, en su dureza y hasta en la coloración que toman los compuestos que integran. Substancias que contienen hierro o cobalto, por ejemplo, (hemoglobina y cobalamina, respectivamente), son de color rojo. El átomo de hierro se puede comportar como divalente o trivalente según el número de electrones que haya cedido a los elementos químicos que lo acompañan en una reacción. Cuando le faltan dos electrones, se escribe  $Fe^{++}$  y representa la forma *ferrosa*; si le faltan tres electrones se escribe con tres cargas positivas  $Fe^{+++}$  y corresponde a la forma *férrica*. En caso de producirse una oxidación verdadera del hierro, éste cede uno de sus electrones al oxígeno y adquiere la forma férrica mientras se establece una fuerte ligadura cuya ruptura requiere gran consumo de energía. Por eso la oxidación difícilmente podría ser reversible.

Cuando se hace pasar una corriente eléctrica por una solución acuosa de compuestos que contengan hierro, los iones férricos son atraídos más violentamente hacia el polo negativo, por lo cual, pueden diferenciarse de los ferrosos.

Con ese método, Bryant Conant estableció en 1923, que en la deoxihemoglobina el hierro era ferroso y, por tanto, no había verdadera oxidación. Así se demostró el error que contenían las conclusiones de Stokes y para definir mejor el proceso Conant introdujo los términos "oxigenación" y "deoxigenación."

El monóxido de carbono puede, al igual que lo hace el oxígeno, combinarse con el hierro en su forma ferrosa con los correspondientes efectos. Contrariamente, la metahemoglobina implica una verdadera oxidación. En ella el hierro adquiere la forma férrica, la combinación es estable y pierde la propiedad de oxigenarse. Sin embargo, la manera en que la forma ferrosa se adhiere a la hemoglobina constituyó, por largo tiempo, un verdadero misterio.

Antes de la Primera Guerra Mundial, se mantenían abiertos dos grandes interrogantes acerca de la hemoglobina: 1.- El tamaño de su molécula. 2.- El ritmo con que la hemoglobina tomaba el oxígeno y se desprendía de él. Los estudios de Adair contribuyeron a demostrar la sutil relación existente entre ambas incógnitas y facilitaron la búsqueda de las respuestas.

La metodología usada inicialmente para determinar el tamaño de macromoléculas como las proteínas fue el análisis químico total y los primeros resultados satisfactorios con respecto a las proteínas los obtuvo O. Zinoffsky en 1885

Este investigador estudió la hemoglobina del caballo y propuso para ella la fórmula:  $C_{712} H_{1130} N_{214} O_{245p} S_2 Fe$ . Además calculó el peso molecular mínimo para la hemoglobina en 16,730 veces el peso del hidrógeno. Aunque esas cifras parecían, en ese mo-

mento, exageradas, Zinoffsky buscaba pruebas de que el peso real de la molécula era un múltiplo de lo que él había determinado.

Luego se introdujo la presión osmótica como método para medir el peso molecular de una substancia y, en 1905, E. Waymouth Reid, calculó, en Gran Bretaña, el peso molecular de la hemoglobina del perro, y lo fijó en 48,000. Pero, dos años después, Gustav Hüfner obtuvo cifras equivalentes a las que se habían establecido con los métodos químicos (16,700). Algunos pensaban que las moléculas se agrupaban para formar cuerpos más voluminosos.

Eventualmente, Adair, con estudios meticulosos que eliminaban múltiples causas de errores técnicos y de procedimiento, determinó el peso molecular de la hemoglobina en 67,000. Sometió su trabajo a "Proceedings of the Royal Society" en abril de 1924, pero no fue publicado hasta un año después .

Se ha insinuado que, probablemente, el jurado responsable de autorizar o no la publicación temió comprometer su reputación al aceptar una cifra tan elevada.

Adair estableció, además, que cada molécula contenía cuatro grupos de *heme* y por tanto cuatro átomos de hierro.

Un año después, Theodor Svedberg inventó un instrumento que llamó "ultracentrífuga" y, sin saberlo, confirmó los resultados de Adair, al atribuirle a la molécula de hemoglobina, en solución acuosa, el peso de 66,800. Hay que hacer notar, que Svedberg, terminó su primer trabajo en el verano de 1925, sin tener el menor conocimiento de los trabajos de Adair. Estos fueron publicados a principios de 1926 en el "Journal of the American Chemical Society".

El peso molecular de la hemoglobina había sido ya verificado y no admitía ninguna réplica, pero se desconocían muchas cosas acerca del mecanismo fisiológico de la complicada molécula.

La determinación del ritmo de adquisición y desprendimiento del oxígeno en la molécula de hemoglobina se había iniciado a principios de siglo en Copenhague, con los trabajos de Christian Bohr, padre de Niels Bohr, a quien ya se ha presentado en otro capítulo como el hombre que, a la muerte de Einstein, fue considerado el más grande físico viviente.

Christian Bohr y sus colaboradores demostraron que si, en verdad, la hemoglobina mostraba una extraordinaria avidez por el oxígeno a nivel de los alvéolos pulmonares, al descender la presión parcial, como ocurre en los capilares, se produce un marcado cambio de conducta y el oxígeno adquiere la tendencia a disociarse aceleradamente de la hemoglobina.

Pero, aunque la demostración de esos hechos era convincente, no había una explicación satisfactoria de los mismos.

En esa situación, Max Perutz introdujo la brillante idea, esbozada previamente por Bernal, de *crear un modelo estructural de la molécula como condición fundamental para poder interpretar su mecanismo fisiológico.*

En 1965 la puso en práctica, pero confiesa que sus primeras especulaciones estaban muy lejos de la realidad, una vez más, su perseverancia sería sometida a duras pruebas.

Ya en los inviernos de 1937 y 1938 había asistido a los cursos de Keilin, en los cuales aprendió importantes detalles acerca de la

geometría molecular del heme, como es la localización del hierro en medio de un cuadrado que formaban los cuatro átomos de nitrógeno; estos, a su vez, estaban unidos por átomos de carbono con ligaduras covalentes en cuatro anillos pequeños que, se unían, por su parte, para formar otro anillo plano, más grande y estable, que recibió el nombre de *porfirina*, cuya etimología griega significa "púrpura."

En el anillo porfirínico de la hemoglobina la distancia que hay entre el átomo de hierro y cualquiera de los átomos de nitrógeno es de dos unidades angstrom. Perpendicularmente al plano en que el hierro se une a los átomos de nitrógeno, existe otra ligadura que lo enlaza a la globulina integrada a la molécula y, en el extremo opuesto, se encuentra otra disponible para el oxígeno. En ocasiones, ese lugar es ocupado por el monóxido de carbono.

En el mencionado invierno de 1938, Perutz tuvo conocimiento de unos trabajos realizados por Linus Pauling, en los cuales había aplicado los principios de la moderna mecánica cuántica, para explicar el papel que juegan las valencias y las resonancias en las uniones químicas. Ya las propiedades químicas de los metales comenzaban a relacionarse con su conducta electromagnética. El punto de partida de esos conocimientos era la rotación (spin) del electrón, que convertía a esta partícula cuántica en una diminuta dinamo capaz de generar un microcampo electromagnético. En este caso, adquiere especial interés que, "Los cambios espectrográficos de la hemoglobina al tomar o ceder el oxígeno alcanzan un nuevo significado físico por las modificaciones substan-



ciales que introducen en el ordenamiento de sus electrones". Esto descartó lo postulado una vez por Linus Pauling y Charles Cooryell, quienes en 1936, habían sugerido que "cada átomo de hierro estaba adherido a los cuatro átomos de nitrógeno que se unen al anillo porfirínico, a la molécula de globina y al oxígeno, por ligaduras covalentes y se pudo comprobar que mientras el oxígeno del aire posee dos electrones no apareados, al introducirse en la oxihemoglobina modificaba la disposición de sus electrones". Este detalle se relaciona con el Principio de Pauli, que sólo admite dos electrones en una misma órbita si tienen rotaciones (spin) en direcciones opuestas, y que define la conducta de esa partícula cuántica, desde el punto de vista electromagnético. Ese cambio en el ordenamiento de sus electrones tiene especial interés porque muestra la influencia de la estructura molecular sobre los átomos y las partículas subatómicas. Aquí se ve que el hierro no está unido a los cuatro átomos de nitrógeno ni a la globina mediante ligaduras covalentes, como pretendía Pauling, sino por ligaduras mucho más débiles como son las iónicas o electrostáticas (los diferentes tipos de ligaduras fueron explicados en el capítulo dedicado a las enzimas). Sin embargo, fue necesario que transcurrieran 30 años y que se modificara la orientación del léxico científico de lo funcional hacia lo estructural para poder apreciar la importancia de ese hecho. Decir que las ligaduras electrostáticas son más débiles se traduce, estructuralmente, al expresar que son más largas o que los elementos unidos por ellas están más distantes.

Eso lo sabía Pauling, pero sus mecanismos mentales, en ese momento, no estaban orientados hacia lo estructural.

En 1912, Max von Laue, de Múnich, dedujo que la longitud de onda de los rayos X era tan reducida que podía compararse con las distancias que separaban entre sí a los átomos cuando se forman los cristales, y encomendó a sus discípulos, Walter Friedrich y Paul Knipping, la tarea de obtener fotografías mediante la difracción de un haz de rayos X al pasar por un cristal determinado. La estructura integrada por la superposición de capas en las cuales los átomos constituyentes estaban dispuestos en un mismo orden, debía producir imágenes que correspondieran a la interrupción del paso de las ondas. Esos trabajos fueron publicados, ese mismo año, en los "Procedimientos de la Real Academia Bávara de Ciencias." Mientras tanto, en Gran Bretaña, otros científicos unían sus esfuerzos en la búsqueda de nuevas soluciones ante las incógnitas que ofrecía esa interesante área de la investigación. Entre ellos, de manera especial, hay que mencionar a los Bragg y vale la pena decir que, para diferenciarlos, se hace referencia al padre, Sir William Henry Bragg, como Sir William; mientras que a su hijo, Sir William Lawrence Bragg, se le llamaba, con igual reconocimiento, Sir Lawrence.

Ambos constituían una de las privilegiadas parejas de padre e hijo galardonados con sendos Premios Nobel. Fueron, además, Directores de la "Royal Institution", de Londres, pues en 1953, Sir Lawrence, en honor a la memoria de su padre, abandonó su puesto en los Laboratorios Cavendish después de quince años de fructífera

labor, para rescatar aquella Institución que, en tales momentos se veía pobre y decadente. Cuando Sir William, que todavía creía en la naturaleza corpuscular de los rayos X, leyó el trabajo de Max von Laue se lo entregó a Sir Lawrence, quien realizó algunos experimentos tratando de salvar la hipótesis paterna sin obtener ningún resultado. De inmediato tuvo la genial idea de resumir el contenido del trabajo de von Laue en un esquema mucho más sencillo. Logró desarrollar una parrilla tridimensional mediante la unión de los puntos correspondientes a los átomos que aparecían en posiciones repetidas. Sus conclusiones lo condujeron a descifrar claramente la disposición de los átomos en las estructuras de los cristales y llegó a introducir la llamada "Ley de Bragg" expresada en la siguiente ecuación:  $n\lambda = 2d \sin \theta$ .

Es necesario hacer notar que si, en verdad, la única novedad de dicha ley era su aplicación en la refracción de los rayos X y en la cristalografía, sirvió para sentar las bases de importantes investigaciones futuras. Entre los trabajos que fueron de gran utilidad para Perutz, en su afán por dilucidar la estructura molecular de la hemoglobina, hay que mencionar, también, los de Bernal y Dorothy Crowfoot Hodgkin publicados en "Nature" en 1934. Con ellos se inició el auge de la cristalografía mediante la refracción de los rayos X en el estudio de las proteínas. Es conveniente intercalar, sin embargo, que hasta 1949 la molécula de mayor tamaño analizada con este método, era la Penicilina, cuyo peso molecular está cerca a los 300. Ese triunfo, obtenido tras cuatro años de labor, fue obra de Dorothy Crowfoot Hodgkin y Charles Bunn.

En la primera semana del mes de abril del 1938, en Praga, Félix Haurowitz tomó un frasco en el que había preparado unos cristales de hemoglobina de caballo. Con una pipeta colocó una gota del contenido en un portaobjetos y le puso un cubreobjetos para observarla en el microscopio. Esperaba ver cristales en agujas con el color propio de la oxihemoglobina, pero sólo vio los cristales grandes, exagonales, propios de la deoxihemoglobina. En ese momento pensó que el frasco se había contaminado con bacterias capaces de consumir el oxígeno. Pero, mientras observaba los cristales, una ola de cambios se produjo ante sus ojos moviéndose de un extremo a otro del campo microscópico. Todos los cristales exagonales se disolvieron y desaparecieron en el líquido. Acto seguido, partiendo del mismo extremo y moviéndose en la misma dirección, vio otra oleada de cambios en la que aparecieron los cristales en agujas propios de la oxihemoglobina. Evidentemente, había penetrado aire entre el porta y el cubreobjetos. Haurowitz observó el proceso bajo luz polarizada y publicó su trabajo en Alemania, no sin sugerir que se completara el estudio con rayos X. Perutz intentó hacerlo, pero los resultados fueron infructuosos porque la superposición de los cristales obtenidos hacía imposible la observación.

En 1938, Sir Lawrence Bragg llegó a Cambridge para ocupar la posición dejada por Rutherford, que había muerto el día 19 de octubre del 1937. Bernal se trasladó a Londres y se llevó a todo el grupo que trabajaba en cristalografía, con excepción de Perutz.

Aunque Bernal reunía condiciones excepcionales desde el punto de vista científico, no había la menor posibilidad de que le concedieran una posición cimera. En esos momentos la situación política en Europa se tornaba más y más difícil con las actitudes amenazantes de la Alemania nazi y Bernal era comunista sin tapujos.

Los padres de Perutz, después de un tiempo en Praga, tuvieron que huir a Suiza en el verano de 1938, tras haber perdido casi todas sus pertenencias. Haurowitz escapó a Turquía, donde encontró trabajo en la Universidad de Estambul; en 1948 emigró a los Estados Unidos y obtuvo un cargo de profesor en la Universidad de Indiana donde enseñó química de las proteínas y de los ácidos nucleicos.

Es interesante que, en esa época, estaba convencido de que las proteínas constituían la estructura del gene, y por capricho del destino, uno de sus alumnos fue James Watson, quien obtuvo, además, las más altas calificaciones. Pero como todo el mundo sabe, Watson demostraría, un día, que su maestro estaba equivocado.

Bragg le consiguió a Perutz un sueldo de 1,320 Libras Esterlinas al año y otras 100 adicionales para mejorar el equipo de rayos X. Con la relativa holgura económica de Perutz, sus padres pudieron viajar a Inglaterra.

En 1939, Bernal sugirió como método adicional de estudio en la cristalografía de las proteínas, la inclusión de un átomo de algún elemento pesado en la molécula observada.

Nuevamente, esa idea sería desarrollada por Perutz, pero en esta ocasión los acontecimientos políticos retrasarían notablemente sus resultados.

Cuando los ejércitos alemanes invadieron Holanda y Bélgica en la primavera del 1940, los ingleses detuvieron a todos los inmigrantes de nacionalidad enemiga que residieran cerca de las costas. Cambridge está ubicada a unos 160 kms del Mar del Norte. Perutz fue arrestado en el mes de mayo y, después de varios traslados, lo enviaron al Canadá a principios de julio. En el otoño, cerca de Quebec, un grupo de científicos afrontaban la misma adversidad. Entre ellos estaban el cosmólogo Thomas Gold, los físicos Herman Bondi, Klaus Fuchs y otros. Perutz, describe en su libro "Is Science Necessary?" las condiciones amargas, en que organizó una especie de campus universitario con actividades en diferentes disciplinas. La situación era tan absurda que no podía pasar inadvertida y tras una breve campaña, en Londres, se decidió libertar a los científicos prisioneros, porque odiaban a Hitler más que a nadie y deseaban combatirlo. Eso no obstante, Fuchs fue el espía que, después, suministró a los rusos los planos americanos para la fabricación de la bomba atómica.

Perutz regresó a Cavendish en enero del 1941 y después de solicitar, insistentemente, un trabajo que contribuyera a los esfuerzos de guerra, pasó tres años como asesor de proyectos bélicos, a veces ridículos, que es preferible no comentar.

Volvió a su labor científica en Cavendish en 1944. El material en cristalografía crecía rápidamente y la donación de la Fundación Rockefeller permitía ya pagarle a dos asistentes. Parecía, en ese momento, que la única forma de obtener provecho del material acumulado era la aplicación de la llamada "Síntesis de Patterson."

Arthur L. Patterson había sido discípulo de Sir William Bragg, pero en esa época se encontraba en el Massachusetts Institute of Technology (MIT), donde había introducido una simplificación matemática de los análisis de Fourier que debía tener utilidad en las investigaciones físicas. Aunque algunos cristalografistas se mostraban excépticos al respecto, por la enorme cantidad de variables que introducía, la falta de otros medios convertía su uso en una opción casi obligatoria y, a final de cuentas, el método de Patterson encontró amplia justificación en la cristalografía con rayos X.

La primera estructura de un aminoácido, la *glicina*, fue determinada en 1939 por Robert Corey, en los laboratorios de L. Pauling, con ayuda de la síntesis de Patterson.

La limitación más importante de este método era el tamaño de las macromoléculas. Rosalind Franklin fracasó al aplicarlo en la cristalografía del ADN durante los años 1952 y 1953; y Perutz, quien llegó a sentir un gran afecto por Patterson, intentó inútilmente, aplicar dicha síntesis en el estudio de la hemoglobina durante 14 años (1938 al 1952). Sin embargo, siempre conservó la fe o el deseo de que algo debía ocurrir que hiciera su aplicación viable y productiva.

John Cowdery Kendrew, nacido en Oxford, en 1917, era hijo de un climatólogo de la Universidad; se graduó de físico-químico en Cambridge, en 1939; durante la guerra había estado con Bernal en el Sureste de Asia, y allí, el maestro lo ilusionó con las posibilidades de la cristalografía con rayos X en las investigaciones biológicas.

Al ser Kendrew un químico-físico parecía lógico, que en esos momentos, prefiriera acercarse a la figura de Linus Pauling, pero como él mismo lo confiesa, la influencia de Bernal fue decisiva.

Kendrew llegó a los Laboratorios Cavendish en 1946 y solicitó trabajar con Perutz. Este le enseñó los fundamentos de la cristalografía y decidió buscarle un tema de investigación. Durante uno de sus paseos habituales con Sir Joseph Barcroft, éste mencionó la diferencia funcional y bioquímica existente entre la hemoglobina fetal y la del adulto y sugirió la demostración de esas diferencias con el uso de la cristolografía y los rayos X como tema adecuado para Kendrew.

En 1947, Sir Lawrence Bragg obtuvo del Medical Research Council la ayuda económica necesaria para ampliar las investigaciones acerca de la estructura molecular de la hemoglobina mediante cristalografía con rayos X. Perutz y Kendrew formaban, en ese proyecto, una unidad de investigación encabezada por el primero. Al cabo de un año pudieron demostrar que la hemoglobina del feto y la del adulto eran dos proteínas diferentes, pero no podían agregar en sus conclusiones, muchas cosas de verdadera trascendencia. Las investigaciones con relación a las moléculas de proteínas parecían estancarse. No se veía ninguna brecha que fuera, al menos, promisoría de hallar una salida. La idea de Bernal de introducir átomos de elementos pesados en la estructura molecular fue intentada, aunque sin éxito, por Dorothy Crowfoot Hodgkin mientras realizaba sus trabajos con la insulina en Oxford bajo la supervisión de Bernal.



Kendrew decidió escoger para sus investigaciones personales la molécula de mioglobina. Entre otras cosas, eso le permitía seguir colaborando con Perutz. Sir Lawrence Bragg se atribuyó a sí mismo la tarea de mantener el entusiasmo de sus dos protegidos aun en los momentos de mayor frustración. En 1950 publicaron, entre los tres, un trabajo acerca de la configuración de polipéptidos en los "Proceedings of the Royal Society."

Desde el otoño del 1949, Francis Crick había llegado a los Laboratorios Cavendish con la idea de aprender cristalografía. En poco tiempo, con su personalidad y su verbo dominante, señalaba las deficiencias y las dificultades que deberían conducir al fracaso los intentos de aplicar la síntesis de Patterson en la dilucidación de las macromoléculas proteínicas. Esa actitud lo indujo a escribir un libro intitulado, "What Mad Pursuit" que podría traducirse como: "Qué Loca Pretensión." Poco después, en el otoño del 1951, llegó a Cambridge James Watson, cuya labor junto a Crick culminaría con el esclarecimiento de la fórmula tridimensional del ADN.

Sin embargo, en su famoso libro intitulado, "The Double Helix", Watson se abstiene de comentar la febril actividad y las grandes discusiones en el grupo de Perutz, de lo cual, necesariamente, tenía conocimiento.

Todo esto es interesante para dar una idea de las diferentes personalidades que contribuyeron a crear aquel ambiente de lucha por conocer la verdad, de donde surgirían transformaciones irreversibles del pensamiento científico y de las relaciones entre la física y la todavía menospreciada biología.

En 1953, Perutz recibió una carta de Austin Riggs, desde la Universidad de Harvard, en la que incluía copia de un trabajo suyo donde había logrado incluir un componente de mercurio en la molécula de hemoglobina. Esto, aparentemente, permitía unir los radicales sulfhidrúlicos de la cisteína localizada en la superficie de la molécula. Riggs pensaba que la inclusión del mercurio interfería con la interacción heme-heme y retardaba el ritmo de la liberación del oxígeno.

La interpretación de Perutz, en cambio, fue absolutamente opuesta. Consideró que la curva de disociación prácticamente no se alteraba y dedujo que si la inclusión del mercurio no había alterado la fisiología era muy probable que la estructura molecular hubiera permanecido intacta. En ese caso, con la inclusión del mercurio, debían obtenerse cristales de hemoglobina que fueran isomorfos con la hemoglobina original. Perutz estaba seguro de que la inclusión de un átomo pesado en el cristal, produciría una diferencia importante en las intensidades de los rayos refractados en el estudio cristalográfico.

Cuatro años antes Perutz había pensado que si se introducía a voluntad, un átomo pesado en la molécula de hemoglobina la comparación de la refracción antes y después de la inclusión debía aportar datos importantes pero, en ese momento, no parecía posible realizar ese artificio.

Después del trabajo de Riggs, Perutz decidió hacer la prueba cambiando, simplemente, la hemoglobina humana con que había trabajado Riggs, por la metahemoglobina de caballo.

Hizo esto porque la hemoglobina humana no formaba cristales que facilitaran el estudio con rayos X. De ese modo obtuvo los primeros cristales de una proteína con la inclusión de un átomo pesado, lo cual le permitió producir la primera proyección de Fourier para la molécula de hemoglobina en un modelo tridimensional.

Desde sus primeras observaciones de esos cristales, Perutz se convenció de que, al fin, estaba en el camino de resolver los misterios de la estructura de las proteínas.

En una ocasión confiesa: "Creí que en un año podría haber resuelto los problemas de la estructura molecular."

Sin embargo, esa actitud reconocida, después, por él mismo, como demasiado optimista, no podía contagiar de entusiasmo a quienes vivían en aquel ambiente frustratorio y deprimente, propio del estudio de las proteínas. Los que se dedicaban a esta rama eran considerados poco menos que chiflados por la aparente inutilidad de sus esfuerzos.

En septiembre del 1953, Perutz presentó sus trabajos ante una gran audiencia internacional en Pasadena, California, lo que constituyó un brillante triunfo para el grupo de investigación apadrinado por Sir Lawrence Bragg.

Sin embargo, como se explicara anteriormente, después de este acontecimiento, Sir Lawrence abandonó Cavendish, para ir a Londres como Director de la Institución Real y aunque quiso llevar consigo a Max Perutz y a Kendrew, ambos decidieron permanecer en sus respectivos lugares. Eso no obstante, Kendrew trabajó intensamente para ayudar a Bragg en su nuevo cargo con su experiencia

en cristalografía, Bragg llegó a expresar que "Perutz había encontrado la Piedra Rosetta para descifrar los patrones de difracción de las proteínas." Pero faltaba, todavía, mucho camino por recorrer. Las imágenes se superponían unas sobre otras sin poder descifrar las estructuras que representaban.

En la primavera del 1954, en medio de esa maraña cristalo-  
gráfica, Dorothy Crowfoot Hodgkin le dijo a Perutz, de manera casual: "Si pudieras conseguir las derivadas de dos átomos pesados, quizás podrías determinar la estructura en tres dimensiones."

Le aconsejó que revisara la última parte de un trabajo escrito por Bijvoet tres años antes, acerca de la estructura de la estricina. Esa insinuación inició una nueva fase en las investigaciones de Perutz. Pero, poco después, en el otoño de ese mismo año, quedó prácticamente incapacitado debido a unos severos trastornos gastro-intestinales cuyo origen alérgico pasó inadvertido a varios médicos, como suele ocurrir en estos casos aun con los gastroenterólogos más experimentados. Finalmente, mejoró al someterse a una dieta estricta. Mientras tanto, Kendrew, que había fracasado en sus múltiples intentos de obtener cristales de mioglobina del caballo con dimensiones útiles, buscó mejores posibilidades en aves y mamíferos capaces de sumergirse en el agua durante largo tiempo. Seleccionó pingüinos, ballenas y delfines, pues la necesidad que tienen esos animales de acumular grandes cantidades de oxígeno hacía razonable el intento. La mioglobina representa el 5% del peso húmedo de la carne de ballena. Con ayuda de un amigo, Perutz le consiguió a Kendrew una buena cantidad de esta carne, pero aunque se

obtuvieron magníficos cristales la mioglobina carecía, aparentemente, de los grupos sulfidrílicos para fijar los átomos pesados. La solución de este problema le correspondió a Howard Dintzis, un bioquímico americano que llegó a Cavendish en 1954, procedente de la Universidad de Harvard, con una beca de post-doctorado.

En 1955, se pudo obtener la inclusión de átomos pesados en cinco lugares diferentes de la molécula de mioglobina.

Bragg había hecho también algunos progresos en cristalografía en la Royal Institution y Kendrew podía usar los dos laboratorios. Pero, aunque logró una proyección tridimensional de la molécula, los detalles estructurales le resultaban tan escurridizos como a Perutz los de la hemoglobina. Solamente había esperanzas en la síntesis tridimensional de Fourier para resolver los problemas y en ese momento, Bragg hizo importantes contribuciones al respecto. Eso le permitió a Kendrew localizar las posiciones relativas de los átomos pesados incluidos en la mioglobina. Con ese paso se podía predecir, ya, la cercanía del éxito. La introducción en el Laboratorio de Matemáticas de la Universidad de Cambridge del primer gran equipo de computadoras le facilitó hacer los cálculos correspondientes a la síntesis tridimensional de Fourier pero, aun así, dichos trabajos se prolongaron durante dos años. Mientras tanto, Perutz seguía empantanado en su lucha con la hemoglobina, hasta que en la primavera del 1957, recuperado ya de sus dolencias y en plena capacidad de trabajo, tuvo una feliz inspiración que le despejó nuevamente el camino. Pensó que las dificultades podían depender del grado de acidez del medio y, cuando puso en práctica su idea, los resultados

fueron halagadores; pero la hemoglobina parecía carecer de los nichos necesarios para retener los metales pesados tal como se había logrado hacer con la mioglobina de la ballena.

Después de trabajar mucho en busca de una solución, Dintzis regresó a los Estados Unidos en 1956, pero, en su ausencia, Ann Cullis, asistente, entonces, de Perutz, encontró que él había dejado una gran cantidad de preparaciones sin revisar y, en efecto, en una de ellas encontraron diferencias de intensidades como nunca antes se habían visto.

¡Dintzis había resuelto el problema sin haberse enterado del resultado obtenido con su extraordinaria labor!

Kendrew estableció, en 1957, la estructura de la mioglobina de la ballena con una resolución de seis unidades angstrom. *Fue la primera proteína dilucidada estructuralmente.*

En ese reporte participaron cinco colaboradores, incluyendo a Dintzis y David Phillips; se publicó en "Nature" el 8 de marzo del 1958. Se comprobó, para satisfacción de Linus Pauling, que la cadena de aminoácidos tenía una disposición helicoidal alfa, lo que fue reconfirmado con mayor poder de resolución en 1959. Por otra parte, era sorprendente la casi absoluta irregularidad de la molécula con una falta total de simetría.

Perutz descifró la estructura de la hemoglobina del caballo, a una resolución de 5.5 unidades angstrom, en 1959.

Esto ocurría unos veintidos años después de su conversación inicial con Haurowitz en Praga. El tamaño de la molécula de hemoglobina era cuatro veces mayor que el de la mioglobina. Esta última tenía

una cadena de aminoácidos, mientras la otra poseía dos cadenas entrelazadas, prácticamente idénticas a la cadena de la mioglobina. Debe señalarse que la sorprendente similitud entre la hemoglobina de diferentes mamíferos marinos y la del caballo sugiere la procedencia de un precursor genético común.

Tanto Kendrew como Perutz hicieron sus respectivos modelos plásticos mediante la superposición de láminas a una escala cercana a 2 angstroms por centímetro. Un angstrom equivale a una diezmillonésima de milímetro. Entonces, más que nunca, se intensificaron los deseos de resolver las incógnitas del funcionamiento de la hemoglobina pero, lamentablemente, los cristales de la deoxihemoglobina obtenidos por Haurowitz en su famosa observación de las transformaciones de la hemoglobina ante sus ojos, tuvieron que ser descartados para la cristalografía con rayos X. En octubre del 1962, Hilary Muirhead y Perutz, obtuvieron, por primera vez, la síntesis tridimensional de Fourier para la deoxihemoglobina humana. Trataron, entonces, de localizar los cambios estructurales sufridos por la molécula con la adquisición y el desprendimiento del oxígeno y encontraron que las cadenas beta se habían movido de manera apreciable. Mientras Perutz preparaba un modelo plástico para la presentación de su próxima conferencia, recibió la primera llamada de un periodista sueco avisándole que le habían otorgado el Premio Nobel de Química. Sin embargo, con la experiencia de que un anuncio semejante le había sido hecho a Linus Pauling unos años antes, y había resultado falso, Perutz prefirió guardar silencio y no hizo referencia a la llamada ni en su propia casa.

Un día después, la BBC de Londres comentaba la noticia. El primero de noviembre, la secretaria lo recibió agitando nerviosamente dos sobres que contenían sendos telegramas, uno para él y otro para Kendrew; creía tener en sus manos la esperada noticia. Pero su alegría era mal fundada, pues procedían de la Academia Papal de Ciencias pidiéndoles unas separatas de un trabajo recientemente publicado. Unas horas después se recibieron, por fin, los telegramas de la Secretaría de la Real Academia Sueca de Ciencias. Les habían otorgado el Premio Nobel de Química del año 1962 a Perutz y Kendrew por haber determinado, mediante la cristalografía con rayos X en los Laboratorios Cavendish, en 1953, antes de la partida de Sir Lawrence Bragg, las estructuras moleculares de proteínas mediante la inclusión de átomos pesados y por la demostración de las fórmulas de la hemoglobina a baja resolución y la de mioglobina a alta resolución. Ese mismo año el premio de medicina y fisiología le fue otorgado a Crick, Watson y Wilkins por la solución de la fórmula tridimensional del ácido deoxiribonucleico (ADN). Como ya se ha comentado esos trabajos se realizaron, también, en los Laboratorios Cavendish, en Cambridge

En el discurso pronunciado en el banquete ceremonial, Perutz dijo las siguientes palabras: "Me he sentido profundamente conmovido por la decisión de la Real Academia Sueca de Ciencias, al elevarme, siendo yo un hombre de tan modestos dones, a las olímpicas alturas de los laureados con el Premio Nobel. Al oír la noticia un amigo que me conoce muy bien, me envió este lacónico mensaje: 'Sangre, trabajo, sudor y lágrimas, siempre fueron una buena combinación.' Pero, a pesar de los



veinticinco años que le he dedicado a esta tarea, solamente la he comenzado." Su meta final, proclamaba después, era explicar la fisiología de la respiración mediante la arquitectura molecular de la hemoglobina. El día 30 de mayo del 1968, ante una de las más grandes audiencias que se dieran cita en la Royal Society para este tipo de actos, Perutz hizo la presentación de su modelo de la oxihemoglobina del caballo. Se usaron luces de colores para señalar cuerdas y conglomerados correspondientes a las cadenas de proteínas y a los grupos heme. Proyectó tres docenas de transparencias elaboradas con una computadora en un osciloscopio. Fueron presentaciones sensacionales e impactantes donde se demostraban espléndidamente los detalles moleculares. Con ellas, podían eliminarse los elementos superfluos mientras quedaban expuestas, solamente, las uniones y ligaduras de la estructura misma en sus ángulos preferenciales. Sin embargo, en esa ocasión advirtió lo siguiente: "El modelo descarta algunas de las proposiciones que han sido introducidas con la pretensión de explicar la interacción heme-heme, pero todavía no es posible revelar el verdadero mecanismo... por otra parte, las características de los residuos que rodean los grupos heme, implican, que ellos son casi esenciales para las funciones de la molécula de hemoglobina."

El bajo nivel de carga y de conductividad en los alrededores inmediatos, permitían al átomo de hierro asociarse de una manera muy sutil con una molécula de oxígeno para producir la oxigenación en vez de la oxidación. Añadió que "Los pliegues de las cadenas de polipéptidos en la hemoglobina y la mioglobina parecen ser un patrón fundamental para la Naturaleza. *Hasta ahora, hemos obtenido, simplemente, la anatomía a nivel atómico, pero el avance en fisiología, es vital.*"

En abril del 1970 Perutz se entusiasmó con un trabajo presentado por Robert Huber, del Instituto Max Planck, en Múnich, acerca de la hemoglobina de la larva de una mosca. La secuencia de los aminoácidos en la hemoglobina de los insectos muestra amplias diferencias con la secuencia de esas fracciones en la hemoglobina de los vertebrados. Sin embargo, algunas estructuras terciarias y la manera general de plegarse eran sorprendentemente similares. La diferencia más conspicua consistía en que la estructura molecular de la hemoglobina de los insectos no se transformaba al recibir o ceder el oxígeno. Esto tenía mucha importancia para Perutz, pues estaba convencido de que el meollo del problema de la hemoglobina dependía, de cómo funcionaba, el gatillo capaz de disparar los cambios de configuración. Ese mecanismo era difícil de establecer porque requería la comparación de la densidad de electrones en la molécula de la deoxihemoglobina con la densidad de los electrones en la oxihemoglobina, y cada una de estas determinaciones acumulaba causas de errores experimentales que, de manera progresiva, interferían en los cálculos de la síntesis de Fourier.

Con el trabajo de Huber se podía disponer de una sola molécula para ambos estados - deoxi y oxi- y, de ese modo, se reducían las causas de error en un 50%. Huber había señalado, como un hecho interesante, que el grupo heme sufría pequeños cambios. Eso era lo que presumía Perutz y, con este nuevo aporte, pretendía encontrar los detalles que necesitaba. En julio del 1970, Perutz encontró la explicación del mecanismo que tanto había buscado. Pudo entender, por fin, el funcionamiento que desencadenaba los cambios observa-

dos en la configuración de la molécula. Tuvo la idea de preparar unos cristales sin incluir las sales que habitualmente ponía para precipitarlos y, al compararlos, notó algunas diferencias en los residuos terminales. Esos terminales no se veían, sino que al suprimir las sales aparecía, más bien, un hueco en medio de la molécula. Elaboró una explicación que le pareció plausible y se dijo: "Si esta hipótesis es correcta, lo habremos conseguido todo."

Era difícil creer que esos mecanismos pudieran depender de efectos tan ligeros y sencillos como el cambio de carga por la posición de grupos colaterales o por la formación y ruptura de puentes formados por sales. Pero luego se comprobó que eso era esencial en el funcionamiento de las enzimas, donde se había aceptado sin reservas. Perutz fue el primero en apreciar, de manera retrospectiva, el extraordinario significado del descubrimiento que hiciera Linus Pauling en 1936, al señalar la diferencia magnética de la deoxihemoglobina y la oxihemoglobina. Este había establecido que la oxihemoglobina era diamagnética. En sus grupos heme las conchas estaban ocupadas por electrones apareados con rotaciones opuestas, cada átomo de hierro tenía ligaduras covalentes en seis direcciones (a los cuatro átomos de nitrógeno en su anillo porfirínico, a la molécula de oxígeno y a la histidina de la cadena de polipéptidos, en el lado de la molécula opuesto al oxígeno). En contraste, la deoxihemoglobina era decididamente paramagnética. En ella, cada heme tenía cuatro electrones no apareados y se unían al átomo de hierro mediante ligaduras iónicas o electrónicas, en uniones débiles.

Para terminar este capítulo completaré la exposición de algunos de los episodios culminantes en la lucha de Max Perutz con la molécula de la hemoglobina. Según sus propias palabras, "La cascada de realizaciones ocurrió cuando miré en el nuevo mapa la densidad de electrones que correspondían a los grupos heme de la deoxihemoglobina". "No lucían planos, sino en acentuada forma de cúpula. Cuando miré a la densidad de electrones que representaba el grupo del pigmento, el átomo de hierro sobresalía tres cuartos de angstrom fuera del plano del anillo. En la oxihemoglobina, el átomo de hierro debe estar en el mismo plano de los cuatro átomos de nitrógeno, a los cuales está unido por ligaduras covalentes. Mientras que, en la deoxihemoglobina, el átomo de hierro está unido iónicamente. Esto ya lo sabía, pero ignoraba cuán mayor era el átomo de hierro con uniones iónicas si se comparaba con el átomo de uniones covalentes. Tuve que revisar la literatura y encontré que la diferencia llegaba a un 12%. El otro detalle que no había precisado, era que el radio del hierro covalente tenía, justamente, las medidas para encajar en el cuadrado formado por los cuatro átomos de nitrógeno. El desplazamiento de tres cuartos de angstrom fuera del anillo que aparecía en los mapas correspondía, exactamente, con el que debía producir la mencionada diferencia de los diámetros. En un sentido, fue bueno que yo ignorara esos detalles porque, de otro modo, habrían podido influir en mis mediciones."

De hecho, el anillo de porfirina actúa como un amplificador mecánico, transformando un pequeño aumento de diámetro en un marcado desplazamiento lineal.

Kendrew y sus colaboradores habían propuesto que, en la mio-globina, el átomo de hierro no parecía desplazarse dentro o fuera

del plano del anillo de porfirina al recibir o ceder el oxígeno. Pero Lynn Hoard, un cristalografista entrenado por Pauling, que en esos momentos estaba en la Universidad de Cornell, había proclamado que la idea de Kendrew era errónea, y que había una perceptible variación del plano del anillo cuando las ligaduras se hacían covalentes. Al leer Perutz el trabajo de Hoard, exclamó: "Hoard lo predijo todo. Ha descrito que el anillo del pigmento era flexible."

Asimismo, refiriéndose a la participación de las sales en el mecanismo de transformación de la molécula, expresó: "Muchos han dicho durante años que la interacción de energía durante la oxigenación era de unas 12 kilocalorías. Ahora sabemos en que se usan. Son dos kilocalorías para romper cada puente de sal."

Finalmente, añade: "El átomo de hierro está adherido a la cadena de proteína por una ligadura rígida, de modo que, cuando salta hacia adentro o hacia fuera, se lleva la cadena consigo; pero la verdadera diferencia entre las dos estructuras de la hemoglobina, está en los puentes de sal que unen las dos mitades de la molécula en la deoxihemoglobina y que no existen en la oxihemoglobina. La hemoglobina es el prototipo de una clase de proteínas que son auto-reguladas. Algo similar ocurre con las enzimas alostéricas, de las cuales, en 1963, Monod escribió una teoría basada, en gran parte, en mis estudios de la hemoglobina."

Monod, fue una figura sobresaliente del Instituto Pasteur que junto a su compañero Jacob contribuyó notoriamente al esclarecimiento del código genético.

---

\*En una ocasión Monod expuso textualmente: "La hemoglobina merece ser considerada como una enzima honorífica".

Como se hizo constar en el Prefacio, casi toda la información correspondiente a Perutz y su dedicación vitalicia a la hemoglobina ha sido tomada de la conocida obra "The Eighth Day of Creation" que dio renombre a su autor, Horace Freeland Judson, quien dice de Perutz, lo siguiente: "Este investigador en su ardua y prolongada labor, no podría compararse con el tigre ni con el escualo, sino con el elefante." En otras palabras, más que la sagacidad, la audacia y el brillo fugaz de una idea, se ve en él, la observación paciente, inteligente y metódica capaz de acumular, progresivamente, los resultados apetecidos

Aunque los detalles técnicos expuestos en este capítulo hayan ido demasiado lejos, proporcionan una envidiable oportunidad para apreciar el verdadero significado de la investigación científica, la magnitud del esfuerzo que conlleva y sus consecuencias.

En el mes de diciembre del 1993, Charles E. Bugg, Director del Centro de Cristalografía Macromolecular de la Universidad de Alabama, junto a W. Carson y J. Montgomery reportaron avances con el uso de la cristolografía asociada a la computadora, en el diseño de importantes medicamentos cuya configuración molecular les permite penetrar en la región activa de una enzima e inhibir sus efectos en el metabolismo de un virus o una bacteria.

Es útil advertir, que lejos de ser indispensable para la vida, el oxígeno es un elemento extraordinariamente agresivo y tóxico. Los primeros seres vivientes eran anaerobios y, es sorprendente que, la célula eucariótica, haya logrado controlar esas cualidades para poder aprovechar la enorme disponibilidad de energía que ofrece el

oxígeno sin lesionar las frágiles estructuras moleculares de las proteínas con que necesariamente interacciona en los procesos vitales. La situación es comparable con un tigre en medio de una tienda de cristalería fina, sin producir un desastre por estar bien domesticado.

Es conveniente consignar, a este respecto, que la presencia del fósforo juega un importante papel coadyuvante. Ahora bien, no puede perderse de vista la participación de la clorofila y de la hemoglobina en la introducción del oxígeno para dar a la vida la oportunidad de aumentar el aprovechamiento de la energía. La primera, al liberar el oxígeno que se acumula en la atmósfera como consecuencia de la formación de los hidratos de carbono mediante la fotosíntesis; y, la segunda, al ocuparse de transportar el oxígeno en el interior del organismo vivo.

Se oye decir, con frecuencia, que la vida depende de la energía solar. Esta afirmación constituye un grave error, pues sólo se cumple en lo que respecta a la superficie del planeta. En cambio, cuando estudiamos los ecosistemas del fondo del océano encontramos hechos sorprendentes. Allí no penetra la luz solar y, sin embargo, surge una gran variedad de criaturas cuyos mecanismos vitales dependen de la energía hidrotérmica emanada del interior de la Tierra y de los sistemas químicos relacionados con ella. Se ha señalado, por ejemplo, la participación de compuestos sulfhídricos que, en principio, son tóxicos para muchas formas de vida, pero que pueden ser metabolizados por algunas bacterias como inicio de una extensa cadena alimenticia.

Entre esas formas de vida, que no dependen de la luz solar, se incluyen especies que carecen de visión. La tendencia evolucionista regida por la mejor adaptación al ambiente no conduce al desarrollo de los órganos visuales, sino que proporciona una extraordinaria percepción táctil, derivada también de la interacción electromagnética. Los conocimientos acerca de estos procesos fueron obtenidos en 1977 durante las investigaciones oceanográficas realizadas por el sumergible Alvin, a 2500 metros de profundidad, 380 km. al NE de las Islas Galápagos. En otros lugares distantes se han observado, también, eventos similares quizás por la propagación de colonias cuyas larvas emigran o porque en diferentes lugares hayan podido originarse ecosistemas similares. En la actualidad se estudia con el mismo objetivo, el fondo oceánico cercano a la Florida y pienso en los riesgos y sacrificios que impone la labor científica, pero el placer de la aventura, la satisfacción del conocimiento adquirido y las ventajas que éste proporciona a la humanidad, representan sus grandes compensaciones.

El desconocimiento de los pasos sucesivos que conducen a la posesión de la verdad no permite evaluar, con justicia, los aspectos puramente humanos involucrados en el proceso. La abnegación y el sacrificio, la brillantez, la perseverancia, la entrega, el estudio interminable, la abstracción, la capacidad de observación, de asociación y de síntesis, que hacen posible el triunfo de la ciencia, deben ser conocidos por el ciudadano común que, de ese modo, podría ver la vida académica como algo bello, noble y encomiable.



Es alentador que, en estos momentos, se realicen algunos esfuerzos para hacer cambiar la actitud mental de nuestras mayorías. Es a todas luces beneficioso, estimular a los niños y a los adolescentes a participar en las fascinantes aventuras que nos brinda el mundo de las ciencias. Las correspondientes autoridades tienen a su disposición, para esos fines, efectivos medios de comunicación.

La ciencia no debe representar algo ajeno, incomprendible e inalcanzable. En vez de temor y rechazo debe despertar interés, amor y entusiasmo. Sin embargo, para que el niño aprenda a amarla hay que provocar en él, tempranamente, la curiosidad científica. Y esto debe hacerse desde los primeros pasos escolares. Hay que mostrarle toda la belleza que nos brinda la simple observación de la naturaleza. Debe apreciar, además, el provecho que obtiene la humanidad del conocimiento científico. La lucha contra la enfermedad, el mejor aprovechamiento de la energía, la comodidad y el mayor disfrute en nuestra diaria manera de vivir, son beneficios cuyos orígenes pasan inadvertidos, injustificadamente. Los enormes privilegios que nos brinda la vida civilizada proceden, en gran parte, de la aplicación de esos conocimientos. Tenemos el derecho y el deber de buscarlos y de obtenerlos. Nada puede compararse a la satisfacción que nos proporciona la adquisición de la verdad cuando descubrimos los secretos guardados por la naturaleza. Pero el disfrute de esa satisfacción requiere un mínimo de preparación intelectual y el balance emocional propiciado por una vida ajena al terror y a la miseria. Me apena pensar que la mayoría de nuestros niños aspiran y hasta sueñan con ser políticos, militares, comerciantes, profesionales

independientes, jugadores de pelota, curas, predicadores protestantes y, desgraciadamente, hasta narcotraficantes, mientras se hace difícil hallar a uno que sueñe con alcanzar un ideal científico.

Y, por añadidura, la vocación científica que, excepcionalmente, pudiera tener un niño en nuestro ambiente, podría pasar inadvertida, ser mal interpretada y sobre todo, no cultivada.

Es penoso que los políticos consuman todas sus energías y su capacidad intelectual, a veces brillante, en su lucha interminable, primero, para alcanzar el poder y, después, para mantenerlo.

Si bien es cierto que entre el político, el artista y el científico existen diferencias genéticas y vocacionales no debería ser tan difícil que un gobernante sintiera por la ciencia, una dosis mínima de interés y de respeto, sin menoscabo de sus inclinaciones humanísticas. Pero aclaremos, por Dios, que no hacen falta las posturas demagógicas ni las falsas pretensiones que inducen a algunos líderes a desbarrar cuando quieren demostrar que son concedores de algún tema científico. Lo que más beneficiaría a la política, a los gobernantes y a los gobernados, sería el interés genuino de introducir una nueva orientación educacional en favor de nuestro crecimiento científico y tecnológico. Desgraciadamente, el hecho de que los frutos sólo se obtendrían a largo plazo y que, por tanto, el esfuerzo realizado en esa dirección no representaría ventajas electorales, parece suficiente para disuadir a los políticos de acometer semejante empresa.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

Britannica, Book of the Year 1994.

Pags. 214-215.

Bugg, Charles E. (et al.) Drugs by Design

Scientific American, Dec. 1993.

Calder, Nigel. The Green Machines.

G.P. Putnam's Sons. 1986.

Crick, Francis. Life Itself.

Simon and Schuster. 1981

Dawkins, Richard. The Blind Watchmaker.

Norton. 1987.

Dressler, David and Potter, Hutington. Discovering Enzymes.

Scientific American Library. 1991.

Fox, Sidney W. y Dose, Klaus. Evolution and Origin of Life. 1972

Freeman, Dyson. From Eros to Gaia.

Pantheon. 1992.

Judson, Horace Freeland. The Eighth Day of Creation.

Simon and Schuster. 1979.

Lehrman, Robert L. The Reproduction of Life.

Bantam. 1967.

Margulis, Lynn and Sagan, Dorion. Microcosmos.

Simon and Schuster. 1986.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

Perutz, Max. *Is Science Necessary?*  
Oxford University Press. 1991.

Perutz, Max F. *Hemoglobin Structure and Respiratory Transport.* *Scientific American*, Dic. 1978.

Thomas Lewis. *The Lives of a Cell.*  
Bantam Books. 1974.

Watson, James D. *The Double Helix.*  
Signet. 1968.

## OBSEQUIOS DE PROMETEO

Es fácil comprobar que conceptos expuestos en algún capítulo de esta obra, reaparecen en otro, generalmente, con alguna faceta complementaria. Esto es así, porque los cuatro temas mencionados en el título (El Tiempo, El Espacio, La Vida y El Hombre), están íntimamente relacionados debido a sus respectivas proyecciones.

Además, la unidad inquebrantable del universo es una condición que, en estos momentos, no admite réplica.

Vemos, también, que el péndulo del conocimiento se mueve en el tiempo, con un eterno vaivén de aparentes avances y retrocesos del que participan, obligatoriamente, los innegables logros científicos y tecnológicos recientemente alcanzados. Así, se citará, próximamente, que en una de las más antiguas concepciones filosóficas, nacida en el valle del Indo, el hombre aparecía inmerso en un todo cosmogónico en el cual no existía la individualidad y donde el "yo soy" carecía de significado. Luego, el pensamiento griego, le da al hombre la noción de su propia identidad y establece la diferencia entre el ser humano y su entorno. Así, se inicia el estudio de la física y el hombre se convierte en observador consciente de la naturaleza. Esa postura ha sido altamente significativa en la evolución del pensamiento, pero en estos momentos, nuestra individualidad parece desvanecerse y se esfuma, de igual manera, la imagen de las partículas elementales que forman la materia y que hoy se identifican con la energía, sin que sepamos lo que, finalmente, esta última representa.

Con creciente insistencia se usa el término "holismo" o "wholism" derivado de "whole" cuyo significado en inglés, corresponde a "todo" y que tiene, a la vez, relación filológica con la palabra "heal" que quiere decir "curar" o restaurar la integridad necesaria para la salud y el bienestar.

Ese holismo lleva implícita la idea de que el universo es una entidad de contenido inseparable y en interacción constante donde no se concibe el todo sin las partes ni las partes sin el todo. La exquisita sensibilidad del poeta místico inglés, Francis Thompson, intuyó y expresó esta imagen, con singular belleza, al advertirnos que "no se puede cortar una flor sin perturbar una estrella".

Sin embargo, es necesario aclarar que las nociones de ese "todo indivisible" y del "Uno eterno e inmutable" no fueron ignoradas por los griegos. Esopuede apreciarse en las inmortales polémicas sostenidas entre Heráclito y los eleáticos, con Parménides, Jenófanes y Zenón a la cabeza, en sus momentos respectivos.

Asimismo, encontramos en la teogonia de Hesiodo una serie de incidentes cuyo contenido podría relacionarse, de alguna manera, con el sorprendente salto que, en estos precisos momentos, ha dado el pensamiento científico.

Hesiodo nos dice: "Con certeza, primero existió Caos, luego surgió Gaia (la Tierra)". Aclara, sin embargo, que Gaia apareció después, pero sin nacer del caos, *a pesar de que éste posee evidente capacidad generativa*. Añade, que ese notable atributo del Caos se hace evidente, porque le dio origen a la Noche y a Erebo (región tenebrosa que se extiende debajo de la tierra y por encima del infierno).

La sensibilidad estética de los griegos introdujo, además, a Cosmos, que significa "Orden", pero sin otorgarle a éste, la jerarquía que posee Caos.

Durante varios siglos, los hombres de ciencia menospreciaron el significado del caos. Lo calificaron de manera despectiva, como una perturbación indeseable con la cual tropezaban, de manera inevitable, cuando pretendían hallar el orden que, según la tradición científica, debía predominar en la madre naturaleza.

Sin embargo, en estos momentos se hace evidente que de nada le ha servido al hombre menospreciar y querer desconocer el profundo significado del caos pues, sorpresivamente, su importancia insoslayable ha transformado el pensamiento científico.

Después de referirnos a los temas físicos y al aspecto antrópico de la cosmología, así como a la nueva orientación de la biología con la participación de la mecánica cuántica y de los nuevos conocimientos acerca de las complejidades, nos acercamos al hombre y a la naturaleza humana como objetivo final de este libro.

Y una vez más, encontramos a los griegos en medio del camino, pues la misma teogonía nos ofrece un escenario donde las deidades se comportan igual que los humanos, aunque con aberraciones aun mayores que las nuestras. Se hace, a todas luces evidente, el profundo conocimiento que tenían los griegos de la naturaleza humana, de sus virtudes, sus pasiones y sus defectos. Hesiodo nos refiere, por ejemplo, que Urano fue derrocado por su hijo Cronos y, éste, con la intención de evitar que le ocurriera lo mismo que a su padre, optó por comerse a sus propios hijos en el mismo momento en que nacían.

Pero su mujer, Rhea, pudo salvar a uno de ellos al engañar a Cronos, haciéndole tragar una piedra envuelta en un lienzo, en vez del cuerpo del niño. Ese hijo fue Zeus, que vivió para destronar a Cronos y convertirse en el más importante de los dioses. Con el uso de todos sus poderes se dedicó, insistentemente, a perseguir deidades y doncellas mortales con lujuria insaciable. Consecuentemente, despertó en su esposa, Hera, los celos más horribles.

No debe sorprendernos que Freud hallara en la mitología una excelente fuente de inspiración para sus geniales concepciones.

Es innecesario insistir en la admiración que sentimos, justificadamente, por la cultura helénica y sus profundas abstracciones filosóficas. Pero en esta ocasión, he preferido detenerme ante la obra de un poeta.

Ocorre con frecuencia que el simple mortal no puede percibir los valores, relativamente ocultos entre la hojarasca inútil y lo superfluo, mientras el genio, en igualdad de circunstancias, los descubre y extrae de ellos lo trascendente para transmitirnos su mensaje impercedero.

Es oportuno señalar, también, el proceso intuitivo que permite a los privilegiados enajenarse del ambiente intelectual en que nacieron para adelantarse a la adquisición del conocimiento científico y exponer conceptos que sólo podían tener vigencia en un futuro muy lejano, al amparo de conquistas teóricas y experimentales inimaginables en su época.

Esquilo, nacido en Eleusis, cerca del año 525 A. de J. C. fue uno de esos genios.



Su padre, Euforion, era un Eupátride, miembro de la antigua nobleza ateniense y se discute si Esquilo llegó a iniciarse en los famosos "Misterios Eleusinos". La discusión tiene importancia porque el hecho puede haber influido, notoriamente, en la trayectoria de su vida.

Fue acusado de haber divulgado, indebidamente, los secretos de la diosa Deméter y se alega que si habló de ellos tenía que conocerlos y para conocerlos debió haberse iniciado. Pero otros dicen que pudo estar enterado, informalmente, y que, por eso, pudo alegar en su defensa que ignoraba haber cometido indiscreción alguna.

Sin embargo, el factor más importante para que lo trataran con benevolencia, fue su participación heroica en la batalla de Maratón librada contra los persas en el año 490. Algunos afirman que se distinguió, igualmente, en Salaminas, Artemisa y Platea.

Reconocido entre los más grandes poetas y dramaturgos atenienses, presentó su primera obra en el año 499, esto es, treinta años después de instalado el festival de la tragedia griega en la ciudad de Dionisia, por orden de Pisístrato.

Según Aristóteles, Esquilo fue el verdadero fundador de la tragedia en la que redujo la importancia del coro, introdujo la participación de un segundo personaje y, de ese modo, le dio prioridad al diálogo. Esquilo obtuvo el premio del mencionado festival no menos de doce veces. Su obra más antigua tenía por título, "Las Doncellas Suplicantes". Otras muy conocidas son; "Tres contra Tebas" y "Agamenon". En las cercanías del año 458 se presentó el drama "Prometeo Atado" que en nuestro idioma, quizás por eufonía, se denomina prefe-

rentemente, "Prometeo Encadenado." Por razones que se expondrán a continuación, he querido hacer referencia a este último.

Hijo del Titán Japeto y de la ninfa Climene, Prometeo era, además, hermano de Atlas. Representa, entre los héroes mitológicos, al amigo y benefactor de la humanidad, cuyo proceder le granjeó la enemistad de Zeus y un prolongado martirio.

Su nombre significa, "Previsor" y el drama surge cuando Zeus, al sentirse defraudado con la conducta de los hombres y lleno de amargura por sus iniquidades, decide destruir a la humanidad para sustituirla con otra raza superior. Lamentablemente, en las postrimerías de nuestro siglo veinte, no faltan "moralistas" con actitudes condenatorias similares, ante las atrocidades que cometen sus semejantes.

Prometeo, en cambio, ante esa situación, se convirtió en decidido defensor de los mortales.

En una ocasión, indujo a Zeus a escoger una porción de carne cuyo aspecto la hacía apetecible, pero que sólo consistía en hueso cubierto de grasa, para que los humanos pudieran obtener las partes más suculentas de los sacrificios que se hacían a las deidades.

Al proteger insistentemente a los hombres, en contra de la voluntad de Zeus, provocó que a pesar de reconocer la ayuda que le había dado Prometeo durante su lucha contra los Titanes, la máxima autoridad del Olimpo lo condenara a permanecer amarrado a una roca del Cáucaso, donde un águila le comía durante el día parte del hígado. Sin embargo, el órgano se regeneraba en el transcurso de la noche y, de ese modo, la tortura se prolongaba interminablemente.

Zeus le ofreció a Prometeo la libertad, a cambio de que divulgara el secreto de la diosa Tetis, cuyo hijo parecía destinado a superar un día la grandeza de su señor. Pero el héroe prefirió callar y permaneció cautivo hasta que, generaciones después, fue liberado por Heracles (a quien más tarde los romanos llamaron Hércules).

Al escribir el drama de Prometeo, medio milenio antes de J.C., Esquilo se adelanta al conocimiento actual de la peculiar capacidad regenerativa del hígado, observable en uno de sus procesos patológicos más importantes. La necrosis, la fibrosis y la presencia de *lobulillos de neoformación*, constituyen la tríada que justifica el diagnóstico histopatológico de la cirrosis hepática.

El epónimo, **Lobulillos de Prometeo**, me parece justificado, aunque nadie ha propuesto, hasta ahora, concederle ese honor al denodado héroe. Cabe señalar, por otra parte, que dichos lobulillos difieren del parénquima normal, tanto en el aspecto estructural como en el fisiológico.

Nos sorprende, gratamente, el contenido de los versos que en boca de Prometeo nos brinda Esquilo acerca del proceso evolutivo de las percepciones sensoriales del hombre, sobre todo en lo que concierne a la vista y al oído. Sin ninguna duda, es estimulante la similitud de sus ideas con los criterios científicos actuales.

En la lista de favores que según la obra de Esquilo, nos otorgara Prometeo, sobresalen el uso del fuego, el conocimiento de la escritura, de la astronomía y de las matemáticas. En resumen, nos proporcionó lo indispensable para adquirir la imagen que tenemos del universo.

Adicionalmente, encontramos la fabricación de carruajes y de embarcaciones de vela, el arte de la medicina y la capacidad de predecir el futuro mediante la interpretación de los sueños y otros métodos de adivinación. Esto último nos da la oportunidad de referirnos, otra vez, a ese atributo propio del hombre que le confiere una cualidad excepcional, aunque sea incapaz de adivinar lo porvenir. Basta poseer la noción de que el futuro existe para transformar con ella el universo. Pues, solamente, con el desarrollo cerebral del Homo sapiens, ha sido posible incidir el continuo espacio-tiempo.

He dicho, reiteradamente, que esa noción es privativa del género humano y que de ella depende la singular concepción témporo-espacial que nos permite ordenar nuestras vivencias y explicarnos el mundo que nos rodea.

El genio de Esquilo se manifiesta al describir la participación simbólica de este personaje mitológico para que el hombre adquiriera la calidad de sus percepciones sensoriales. De esas percepciones nace la orientación témporo-espacial exclusiva de nuestra especie y al obsequiarnos, además, con los medios para la adquisición del conocimiento acerca de la naturaleza, nos prepara para que seamos observadores conscientes del universo.

Con el fin de señalar la similitud entre las palabras que pone Esquilo en boca de Prometeo y los resultados de investigaciones científicas recientes, he ofrecido, la traducción libre de unos versos cuyo contenido simbólico es evidente. Le dedico al fuego el próximo capítulo porque, a veces, olvidamos la importancia que ha tenido para la humanidad.

El mismo Prometeo al hacer, su propia presentación en un pasaje del drama, dice con orgullo: "Yo soy aquél que suministró el fuego a los mortales."

No puede pasar inadvertido que a pesar de haberlo usado durante milenios, fue ayer, cuando el hombre logró esclarecer lo que, en realidad, era el fuego. Simultáneamente, aprendió el significado del aire y del agua, que con la tierra, completaban la concepción, firmemente arraigada, de los cuatro elementos constitutivos de la naturaleza. Para deponer esas ideas, después de haberlas mantenido en un venerado pedestal durante milenios, fue necesario que surgiera una nueva ciencia, la química, y con ella, se introdujo un nuevo paradigma. Es interesante revisar algunos aspectos de esa historia.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

Enciclopedia Britannica. Esquilo. Vols. 1 y 20  
XV Edición. 1992.

Glashow, Sheldon L. and Boya, Ben. Interactions.  
Warner Books. 1988.

Hutchins, Robert Maynard. Great Books of the Western World  
Benton, William. (Britannica).

Iñiguez P. Quests.  
Amigo del Hogar.

Sagan, Carl. The Dragons of Eden.  
Ballantine-Science.

## EL FUEGO

### PRIMER GRAN PASO EN LA PREHISTORIA.

Cuando el hombre daba sus primeros pasos sobre la tierra dependía de su habilidad para obtener el alimento y de su capacidad para reproducirse. Esos factores iban a ser decisivos para que un día pudiera alcanzar el sitio privilegiado que hoy ostenta.

El alimento representaba la fuente de energía que debía transformarse en crecimiento tisular y actividad fisiológica.

La reproducción debía garantizar la perpetuación de la especie y su eficiencia sería favorecida por el desarrollo de su esfera afectiva. La elevación de sus sentimientos le daría nuevas dimensiones a la esfera sexual del hombre.

Mientras tanto, los mecanismos de adaptación al ambiente ordenarían, a largo plazo, los cambios correspondientes al proceso evolucionista.

Una gran cantidad de la energía acumulada en el organismo se traduce en la fuerza que es capaz de desarrollar el sistema musculoesquelético. Esa "fuerza muscular" tuvo que ser determinante para establecer las reglas de convivencia y el escalafón jerárquico en las agrupaciones que, aun en su fase primitiva, mostraban al hombre como un ente orientado hacia la organización social. El más musculoso convertía su mayor disponibilidad de energía en superioridad de rango y esa situación constituía un vivo ejemplo de sometimiento a la fuerza bruta.

El intelecto, en cambio, aunque es responsable de la posición privilegiada que ocupa la especie, no debió tener un papel preponderante en las relaciones de nuestros primeros antepasados. Esa situación la describe Esquilo al poner en boca de Prometeo los siguientes versos que, para no interrumpir la lectura, prefiero repetir en vez de sugerir el retroceso a la página en que ya aparecieron:

" Al principio, eran como bestias sin sentido.

Yo les di posesión de la mente,

porque lo que veían,

lo veían mal y fuera de lugar.

En cuanto a oír, nada oían,

como fantasmas se amontonaban confundidos

y como en sueños,

vivían perplejos la historia de sus días."

La capacidad de manejar el fuego representa la primera gran conquista del hombre conducente a la utilización de energía extracorpórea. Luego, el uso de la rueda cuyos diámetros representan un conjunto infinito de palancas con el punto de apoyo en su centro, constituye otra hazaña extraordinaria. Ulteriormente se sucedieron importantes episodios que permitieron alcanzar nuestras actuales condiciones de vida aún en proceso de superación.

Hay hallazgos arqueológicos correspondientes al *Sinanthropus pekinensis* (el Homo erectus de la China), generalmente interpretados como prueba de que éste usaba el fuego. La cronología de esos datos se extiende a unos 500,000 años y es muy probable que, también el *Homo erectus* de Africa, usara el fuego desde hace más de un



millón de años. Pero, en esos momentos, el hombre primitivo no podía tener ninguna explicación de tan extraordinario acontecimiento. Podemos imaginar su reacción ante semejante prodigio y añadir que debió relacionarlo con alguno de los espíritus representativos del mundo sobrenatural que su imaginación iba creando. Carente, todavía, de un lenguaje que le permitiera explicar aquello que le rodeaba, sólo podía expresarse con el incipiente balbuceo de la palabra articulada.

Milenios después, una civilización establecida en el valle del Indo llegó a concebir una interesante filosofía en la cual el hombre aparecía inmerso en un todo cosmogónico de componentes inseparables. En ese contexto el "yo soy" carecía de sentido; el concepto de individualidad no existía.

Es necesario llegar a la antigua Grecia para encontrar al hombre consciente ya de su propia identidad y dedicado a estudiar su complicado entorno.

De ahí nace nuestra concepción actual de la naturaleza, a la cual los griegos llamaron "Física."

Empédocles (495-370 antes de J.C.), pretendía que el fuego, el agua, el aire y la tierra, eran los "elementos fundamentales" de donde se formaban las diferentes sustancias que llenaban su universo.

Según esta concepción, las características de las diferentes sustancias dependían de las proporciones en que dichos elementos se combinaran entre sí. Se han necesitado más de dos milenios para poder obtener los conocimientos y los diferentes lenguajes con que hoy puede expresarse la ciencia.

Hemos aprendido que el fuego nada tiene de elemental y que representa la combustión de sustancias inflamables. En términos químicos se introdujo el concepto de la oxidación que corresponde a la combinación de esas sustancias con el oxígeno.

Es evidente que para exponer los nuevos conceptos se requería la introducción de una terminología diferente con capacidad para albergar nuevas metáforas.

Aunque la advertencia reiterada es desagradable, vale la pena insistir en que las grandes transformaciones del pensamiento científico obligan a substituir las formas tradicionales de expresión. Se crean, así, términos realmente frescos, tanto en lo concerniente al léxico dominante como a las ecuaciones matemáticas que sirven de sustentación a las nuevas ideas.

Por otra parte, sorprende la facilidad con que una terminología nacida del quehacer científico en época reciente, enriquece el limitado vocabulario de las personas con cultura llana y hasta iletradas.

El uso de vocablos como: hidrógeno, oxígeno, óxido, oxigenado, etc se ha hecho tan común que confirma la enorme capacidad de penetración que tiene la palabra. Y aunque esas innovaciones lingüísticas se usan como si hubieran existido desde siempre, bien vale la pena señalar que nacieron ayer. Su introducción en el mundo de las ciencias sólo adquiere vigencia desde hace poco más de 200 años, cifra que, comparada con la enorme extensión que abarca la historia de la humanidad, representaría una reducida fracción de tiempo.

La mencionada concepción griega de los cuatro elementos fundamentales admitía la posibilidad de convertir una sustancia en otra

con sólo alterar las proporciones de dichos elementos en sus composiciones respectivas. Los alquimistas soñaron con "la piedra filosofal" para convertir el plomo en oro.

#### LA TEORIA DEL FLOGISTO.

Los árabes propusieron la existencia de dos principios especiales en la constitución de los cuerpos sólidos; uno era el principio metálico, representado por el mercurio; y el otro era el azufre, responsable de la combustión. Aunque este esquema, de ninguna manera, podía conducir a la transmutación soñada por los alquimistas, llevaba implícita la idea de la combustión que en un momento dado adquirió extraordinaria importancia. Del mismo modo que la electricidad se puso en boga en los años 1800 y la radioactividad era tema obligado a principios de este siglo, el estudio de la combustión fue el objeto de discusión preferido entre los investigadores de los años 1700. En esos días, George Ernst Stahl, médico real de Federico Guillermo I de Prusia, brillante profesor e investigador científico, combinó algunos conceptos defendidos por los antiguos alquimistas con las ideas introducidas por los árabes y añadió innovaciones propias. Atribuyó las características del azufre a una sustancia imaginaria que denominó "Phlogiston"(Flogisto). Este principio que él suponía oculto en todas las sustancias inflamables era el responsable de que un objeto pudiera quemarse. *Phlogiston*, en griego, significa: encender o hacer arder. Según Stahl, durante el proceso de combustión el flogisto contenido en el material encendido se transmitía al aire circundante.

La materia residual de la combustión (ceniza) quedaba desprovista, en absoluto, de la imaginaria substancia propuesta por Stahl. Es interesante que, no obstante haber introducido una teoría desacertada, este investigador llegara a identificar la combustión con la oxidación de los metales (aunque, desde luego, este término todavía no existía). Según él, un proceso acelerado de combustión produciría el fuego mientras la herrumbre se formaba cuando los cambios ocurrían con un ritmo más lento. La obtención de los metales al tratar con fuego el material que los contiene acompañado de sus respectivas impurezas, parecía ser fácilmente explicada por la teoría del flogisto. El material de hierro, por ejemplo, representaba la substancia deflogistada que al ser tratada en la fragua con el carbón encendido, recibía, de este último, el elemento generador del fuego. De ese modo, el hierro adquiriría la forma metálica mientras el carbón, desprovisto del factor incendiario, se convertía en ceniza.

Independientemente del interés histórico de este episodio, su descripción, en esta oportunidad, tiene justificación desde el punto de vista conceptual, porque al discutirlo quedará demostrada la importancia del rigor matemático en la exposición de una concepción científica. El grave error de Stahl consistió en no cumplir con esos requerimientos. Si se hubiera tomado el trabajo de pesar las cantidades de las diferentes substancias que intervenían en el proceso antes y después de ser transformadas, las evidencias lo habrían conducido a conclusiones menos desafortunadas. Cuando un metal se oxida, gana en peso. Una barra de hierro de una libra, al oxidarse, llega a

pesar hasta una libra y media. Al tratar el óxido con el fuego del carbón de piedra (que, según la teoría le transmitiría el flogisto), la forma metálica resultante pesa menos que la oxidada a pesar de la pretendida adición del productor de fuego.

Es lógico que para explicar esa situación había que pensar de otra manera. Sin embargo, la terquedad puede afectar a los científicos tanto o más que a otros seres humanos, sobre todo si se agregan frustraciones, prejuicios y resentimientos de índole personal. Vemos, así, que para defender lo indefendible y pretendiendo explicar lo inexplicable, algunos propusieron que el flogisto tenía fuerza de levitación y que, por tanto, su peso era negativo (! ?). Esa actitud anticientífica resultaba insostenible ante el hecho de que la ceniza obtenida al quemarse un leño debería ser más pesada por carecer de la levitación atribuida al extraño componente pero, de hecho, es mucho más liviana que la madera de donde se origina.

En conclusión, la simple medición del peso obligó a abandonar la errónea teoría y, después de este fracaso, varias generaciones ulteriores de científicos fueron incapaces de explicar qué era el fuego.

En 1770, el químico escocés, Joseph Black encendió una vela, la encerró en un recipiente hermético, la observó hasta que se apagó y comprobó que, todavía, en el recipiente había una cantidad apreciable de aire. La pregunta ¿por qué se apagó? pasó por su mente, pero en vez de buscarle una respuesta continuó trabajando en otras cosas que le interesaban en ese momento. Se limitó a transferir el problema a Daniel Rutherford, uno de sus más consagrados discípulos. Este repitió el experimento en 1772 y tuvo la idea de colocar en el

recipiente otra vela encendida después de haberse apagado la primera. Pudo comprobar, así, que la segunda vela dejaba de arder casi al instante de ser introducida en ese ambiente. Por añadidura, una rata colocada en el mismo lugar moría en poco tiempo.

Al hacer un análisis retrospectivo de la interpretación de esos resultados, hay que partir de dos premisas: 1. El aire, según la tradición griega, se consideraba todavía como un elemento. 2. El punto de referencia para buscar una interpretación teórica era la concepción de Stahl. Como consecuencia, Rutherford consideró que la vela encendida en un ambiente cerrado había pasado todo su contenido de flogisto al aire circundante hasta saturarlo, con lo cual no era posible que otro cuerpo pudiera emitir más contenido inflamable. Rutherford calificó ese aire como flogistado.

Joseph Priestley, un ministro religioso de carácter inquisitivo y rebelde, llegó a establecer una estrecha amistad con Benjamín Franklin y, como consecuencia de las conversaciones sostenidas entre ellos, se interesó en algunos problemas científicos. Poco después hacía valiosos descubrimientos. En 1774, calentó mercurio con rayos solares concentrados en el foco de una lente de aumento y obtuvo una pátina de polvo rojizo que cubría la superficie metálica brillante. Al recoger ese polvillo y calentarlo a temperaturas más elevadas logró evaporarlo y obtener así dos gases diferentes. Uno era vapor de mercurio que, al condensarse, se convertía nuevamente en gotas del líquido metal. El otro era un vapor invisible. Una vela encendida en presencia de esa substancia ardía con extraordinaria brillantez; una rata colocada en ese ambiente mostraba gran excitación.

El mismo Priestley reportó que al inhalar ese aire tuvo una sensación liviana y agradable. Al igual que Rutherford, la interpretación que hizo Priestley de sus observaciones se apoyaba en la teoría del flogisto. Pensó que el mercurio, al ser calentado, perdía su contenido de la sustancia incendiaria y se convertía en un polvo similar a la herrumbre que, al ser calentado a temperaturas más elevadas, adquiría del aire, nuevamente, el misterioso engendro de Stahl y recuperaba su condición metálica. Mientras tanto, el aire quedaba carente del mismo y, por esa razón, le dio el nombre altisonante de aire deflogistado. Suponía que ese aire ávido de flogisto extraía bruscamente el pirógeno que contenían las sustancias con que hacía contacto.

#### EL NACIMIENTO DE LA QUIMICA.

Mientras tanto, en París, Antoine Laurent Lavoisier, un joven químico de brillantez extraordinaria, trabajaba intensamente en otros proyectos que, a primera vista, parecerían distantes del tema que nos ocupa. Lavoisier estaba convencido de que la medición exacta de los resultados debía ser tan importante en los experimentos químicos, como había demostrado Galileo que lo era en las investigaciones físicas. En otras palabras, la observación cualitativa era insuficiente y debía complementarse con el estudio cuantitativo. Aplicó sus ideas al repetir un experimento que ya habían realizado los alquimistas para justificar la supuesta transmutación de los elementos ya que les servía como ejemplo de la conversión de agua en tierra.

Ellos pretendían que al hervir agua durante un tiempo suficientemente prolongado, se obtenía en el recipiente utilizado un sedimento sólido, como consecuencia de la transmutación.

Al realizar su experimento, Lavoisier decidió hervir el agua durante 101 días consecutivos en un matraz cuya configuración hacía posible recoger los vapores y condensarlos, al instante, sin permitir que se escaparan. Así pudo comprobar que el peso del agua antes de ser hervida era exactamente igual al del agua obtenida por la condensación del vapor.

Esto le permitió demostrar que el sedimento sólido procedía de las paredes del frasco y refutó, de ese modo, la interpretación de los alquimistas. Se hizo evidente que la cuantificación facilitaba la interpretación de los experimentos y evitaba conclusiones erróneas.

Continuando sus investigaciones colocó un poco de estaño en un recinto cerrado y pesó cuidadosamente el contenido y el continente. Luego los calentó hasta que una pátina cubrió el estaño. Lavoisier pesó, entonces, el conjunto y observó que el peso total no había aumentado, aunque el estaño, al adquirir la pátina, tenía que pesar más. Razonando lógicamente, dedujo que alguno de los materiales involucrados en el experimento (el recipiente o el aire encerrado en el sistema), debió perder el mismo peso ganado por el estaño. Al abrir el frasco se produjo una entrada rápida de aire, para compensar el vacío producido por la porción que había adquirido el estaño y, como era de esperar, su peso resultó equivalente al aumento obtenido por el estaño. La conclusión final de Lavoisier fue la siguiente: La combustión o la formación de herrumbre (óxido), no era causada



por pérdida de flogisto sino por la combinación del combustible o el metal con el aire. No había evidencia alguna de flogisto. ¡El flogisto no existía! Pero Lavoisier observó, también, otro detalle de gran importancia. Solamente una quinta parte del aire incluido en el proceso participaba en la reacción. Las cuatro quintas partes restantes eran inertes. Esto abría nuevos interrogantes. Las respuestas surgieron cuando Priestley, en un viaje que hizo a Francia, en 1774, comunicó sus experiencias a Lavoisier y éste dedujo, desde el primer momento, que el aire estaba compuesto por dos sustancias diferentes. Desde entonces desapareció la condición de elemento fundamental que le habían atribuido los griegos. Lo que Priestley había descubierto y considerado como aire deflogistado, Lavoisier le dio el nombre de oxígeno que, en griego, significa productor de acidez. Lo creyó un ingrediente necesario para la composición de los ácidos y aunque hoy sabemos que ese concepto es errado, el nombre se perpetuó.

Antes de concluir este breve relato conviene hacer constar que Carl Wilhelm Scheele, había descubierto el oxígeno, en Suecia, más de un año antes que Priestley, pero ese episodio fue omitido en el libro que publicaba, por descuido del impresor. El responsable reconoció su falta y, en la actualidad, la paternidad de este importante descubrimiento se considera compartida entre los dos investigadores. La substancia correspondiente a las cuatro quintas partes restantes en la composición del aire, fue bautizada por Lavoisier con el nombre de azote, cuyo significado, en griego, corresponde a "no vida." Hoy representa el elemento químico denominado *nitrógeno*.

Sin embargo, no debe sorprendernos que muchos químicos permanecieran aferrados a la teoría del flogisto, sin ver ninguna ventaja en aceptar los nuevos criterios.

El oxígeno, a primera vista, era un flogisto al revés. En defensa de sus ideas, Lavoisier quiso hacer valer la importancia de la medición de los pesos y sostenía que, en un sistema cerrado, el peso total de las sustancias que participaban en la reacción debía ser el mismo, tanto antes, como después del proceso.

Así nació la importante "Ley de conservación de las masas."

Pero el camino tomado por Lavoisier para demostrar el cumplimiento de dicha ley condujo a resultados contradictorios por razones que en ese momento no podían conocerse. Trató de medir la cantidad de oxígeno que se inhalaba en la inspiración para compararla con el anhídrido carbónico exhalado y encontró que una porción del oxígeno desaparecía en el proceso. Aparentemente, en este caso la ley no se cumplía.

Mientras tanto, en Gran Bretaña, Henry Cavendish, se había dedicado a estudiar con detenimiento una sustancia que ya otros habían observado, aunque sólo superficialmente.

Era un gas inflamable que se producía por la acción de los ácidos sobre los metales. Entre otras cosas observó que era más ligero que todo objeto material conocido.

Bajo la influencia de la teoría del flogisto y pensando en la supuesta facultad de levitación de esa sustancia, Cavendish llegó a creer que ambas cosas podían ser idénticas.

Como características sobresalientes del gas en estudio, se podían enumerar: su rápida aparición cuando los ácidos atacan los metales, su inflamabilidad y su alto poder explosivo. Es obvio que, partiendo de la mencionada concepción teórica, todas esas propiedades eran atribuibles al flogisto.

Con el propósito de confirmar esa posibilidad, Cavendish creyó dar un paso decisivo al combinar, en un experimento, una porción del gas que había descubierto con otra del aire deflogistado de Priestley. En 1781, poniendo en práctica su idea, derramó ácido sobre un metal para provocar el desprendimiento de flogisto y encenderlo con una chispa, mientras era conducido a un recipiente que contenía aire deflogistado. Sorprendentemente, en vez de aire flogistado, aparecieron en la pared del recipiente gotas de un líquido inodoro, incoloro e insaboro, con todas las características del agua y que, necesariamente, era ¡Agua!

De ese modo, el experimento con que se pretendía confirmar la teoría del flogisto le proporcionó a Lavoisier datos suficientes para descartarla de una vez por todas.

Repitió los experimentos del inglés y se convenció de que estaba frente a otra sustancia que bautizó con el nombre de Hidrógeno (en griego: productor de agua). Se introdujeron, de manera instantánea, cambios conceptuales que transformaron de manera irreversible el pensamiento científico. Consecuentemente, Lavoisier pudo visualizar que los alimentos ingeridos contenían no sólo carbono sino hidrógeno y que al producirse su combustión, parte del oxígeno se unía con este último y formaba agua.

Esa agua que, hasta entonces había pasado inadvertida, constituía el faltante que aparentemente violaba la "Ley de la Conservación de las Masas" en la combustión biológica. La concepción griega de los cuatro elementos que por tanto tiempo se había mantenido firme cayó de su pedestal arrastrando consigo a la teoría del flogisto.

El agua es, en efecto, óxido de hidrógeno, un cuerpo compuesto, en vez del pretendido elemento fundamental; el aire una mezcla de oxígeno y nitrógeno; y, el fuego, es producto de la oxidación o combustión. Con estas innovaciones nace prácticamente la química moderna y toda una terminología científica que, como señalamos al inicio de este tema, se oye con frecuencia en boca del profano.

Ahora bien, no puede perderse de vista el origen de las ideas que condujeron a la solución de estos problemas, y no debe sorprender a nadie que fuera también en Grecia, donde Leucipo de Mileto y Demócrito de Abdera, sostuvieran criterios muy diferentes a la concepción de los cuatro elementos.

Según ellos, todos los objetos estaban hechos de "átomos," esto es, de partículas elementales que no podían dividirse más. Pero esta teoría tuvo grandes opositores, entre los cuales se hallaba Aristóteles, cuya influencia resultó decisiva para que fuera desestimada durante casi dos mil años.

Es en la primera década del siglo XIX cuando esas ideas adquieren vigencia con los trabajos del químico inglés John Dalton.

Este investigador realizó sus estudios en forma diametralmente opuesta al procedimiento que siguió Stahl para introducir la teoría del flogisto.

Dalton se dedicó a pesar minuciosamente todas las muestras de gases que estudiaba para establecer sus masas respectivas como única característica que permitía diferenciar un átomo de otro. Aunque la determinación del peso de un átomo era impracticable por ser éste tan minúsculo, siempre era posible establecer las masas relativas de los átomos que formaban diferentes sustancias.

Dalton introdujo la "Ley de las Proporciones Múltiples", conocida también como "Ley de Dalton", la cual establece que si dos elementos se combinan en más de una proporción para formar diferentes compuestos, el peso de uno de los elementos que se unirá a idénticas cantidades del segundo, lo hará, conservando entre ambos una relación expresada en pequeños números íntegros. Existe, además, otra ley, que algunos denominan Segunda Ley de Dalton, mejor conocida como Ley de las Proporciones Definidas. Esta impone que en todo compuesto químico la proporción ponderal de los elementos que lo constituyen es siempre constante. Algunos autores le atribuyen otra paternidad, por lo que es justo mencionar a Joseph Louis Proust, un sabio francés que vivió y realizó parte importante de su obra en España y que trazó caminos superponibles, en muchos aspectos, a los de Dalton.

Vale la pena citar los siguientes Postulados de Dalton:

1. Todos los átomos de un elemento son siempre iguales en todos los aspectos y particularmente poseen un peso idéntico.
2. Los átomos de los diferentes elementos tienen diferentes propiedades y en particular tienen diferentes pesos.

3. Un compuesto no es un elemento sino la asociación de un número íntegro de átomos de cada uno de los elementos que lo forman.

4. En una reacción química que pueda producir una redistribución de átomos, ninguno de los átomos es destruido y no se crea ningún átomo nuevo.

Es pertinente abrir un paréntesis y aclarar que a la luz de los conocimientos actuales esos postulados no son totalmente ciertos.

En primer lugar, los átomos de un mismo elemento pueden tener diferentes pesos (isótopos) y, en segundo, los núcleos, cuyas características estructurales dependen de dos interacciones diferentes, pueden sufrir transformaciones de gran importancia.

La interacción nuclear fuerte al ser mucho más poderosa que la electromagnética, anula sus efectos en el interior del núcleo. Conserva a los quarks en el interior de los hadrones y, a pesar de la repulsión que debería separar a los protones, por las similares cargas eléctricas positivas que poseen, los mantiene estrechamente unidos.

A su vez, la interacción nuclear débil permite el cambio de un quark por otro, con lo cual un neutrón puede convertirse en un protón y viceversa. La emisión de las partículas energéticas residuales de este proceso, determina la radioactividad de esos núcleos.

Cerrado el paréntesis podemos decir que la Ley de Dalton, aunque es fundamental en la química de los cuerpos compuestos, no define ni el tamaño ni el peso de los átomos.

Con la intención de establecer los pesos de los átomos correspondientes, Dalton partió de un dato conocido. En la composición del agua entran átomos de hidrógeno y oxígeno en la proporción de un gramo

del primero por 8 gramos del segundo. Dedujo que si el agua estaba formada por un átomo de cada uno de sus elementos, el átomo de oxígeno debía ser 8 veces más pesado que el de hidrógeno. Esta presunción era errónea, pero se necesitaron dos importantes aportaciones para tomar el camino correcto. En 1800, William Nicholson y Anthony Carlisle, dos químicos ingleses, demostraron que al someter el agua al paso de una corriente eléctrica se descomponía en sus dos elementos. Se hizo evidente que el volumen de hidrógeno obtenido era dos veces mayor que el de oxígeno. En 1811, se eliminó definitivamente, la posibilidad de que la diferencia de volumen fuera debida a una mayor expansión del hidrógeno. Avogadro estableció la famosa Ley que lleva su nombre, con el siguiente enunciado: "En igualdad de volumen los gases tienen el mismo número de moléculas."

Según sabemos, en el agua hay dos átomos de hidrógeno por uno de oxígeno y el peso de éste es, aproximadamente, 16 veces el del hidrógeno. Así se obtuvo el balance cuantitativo.

Por razones de diferente índole, el nombre de Dalton está, también, íntimamente relacionado con la *deuteranopia*, mejor conocida como daltonismo. Este trastorno visual consiste en la incapacidad de distinguir los colores rojos y verdes.

Se dice que mientras estaban reunidos en Manchester, a fines del siglo XVIII, los miembros de una sociedad científica a la que él pertenecía, Dalton asistió luciendo un abrigo color escarlata. Algunos de sus colegas se rieron burlescamente, mientras otros creían que Dalton llevaba su indumentaria para mofarse de ellos. Creía estar vestido a la moda con un traje marrón.

Este incidente, que podría parecer una simple invención, se registra en su biografía como verídico y puso en evidencia el problema visual de Dalton. Hoy sabemos que quienes padecen esta condición no pueden distinguir los colores rojos ni verdes.

#### LAS CONQUISTAS DE LOS ULTIMOS DOS SIGLOS.

En el siglo XIX, el desarrollo de la máquina de vapor dio origen en la Gran Bretaña, a la Revolución Industrial.

Este evento contribuyó a cimentar la termodinámica con aportes importantes de Rudolf Clausius, Sadi Carnot y Ludwig Boltzmann.

La introducción de la electricidad y de los hidrocarburos inició la que bien podríamos llamar época moderna.

Cuando se pasó del simple uso de la corriente eléctrica al manejo selectivo del electrón, nació la electrónica y, con ella, se inicia el enorme salto tecnológico del siglo XX.

Como consecuencia de la teoría especial de la relatividad publicada por Einstein en 1905, se estableció la dualidad energía-materia expresada en la trascendental ecuación  $E=mc^2$ .

Se ampliaron las proyecciones de la radioactividad y se controló, al menos parcialmente, el uso de la energía nuclear.

El principio inviolable de la conservación de la energía expresado en la "Primera Ley de la Termodinámica" adquirió una nueva dimensión. El enunciado de esa ley, impone que la cantidad de energía existente en el universo es constante, puesto que la energía puede ser transformada, pero no puede ser creada ni destruida.



En la etapa prerrelativista, el calor, la fuerza motriz y las nuevas aplicaciones del electromagnetismo, representaban las manifestaciones energéticas principalmente utilizadas por el hombre, pero los efectos derivados de la ya mencionada ecuación einsteniana estremecieron los cimientos de los criterios clásicos.

En toda la historia ninguna otra expresión matemática ha cambiado tan profundamente el pensamiento científico ni se ha difundido tan ampliamente en el ambiente profano.

Al producirse las reacciones nucleares de fisión y de fusión, una ínfima porción de materia desaparece para convertirse en una exorbitante cantidad de energía, equivalente a la masa faltante multiplicada por el cuadrado de la velocidad de la luz.

Esto quedó trágicamente demostrado en Hiroshima y Nagasaki con un costo incalculable de vidas, con dolorosas secuelas y con profundas perturbaciones genéticas en los sobrevivientes.

Debe señalarse, sin embargo, que hasta ahora sólo se ha logrado controlar la energía derivada de la *fisión nuclear*, que adolece de múltiples aspectos negativos. Su eficiencia es baja, arrastra, además, los graves inconvenientes de una nociva contaminación ambiental y existen serias dificultades para obtener el material de uranio y los transuránicos que constituyen la materia prima.

En julio de 1946, los EE UU evacuaron la población del atolón de Bikini para detonar, experimentalmente, en ese lugar una bomba atómica. Las investigaciones realizadas en las islas Marshall entre 1946 y 1958 mostraban altos niveles de radioactividad en el ambiente; y cuatro décadas después, las cifras obtenidas se consideran

inaceptables para intentar la repatriación de los habitantes de Bikini. Una calabaza cultivada en un lugar donde se habían removido previamente cerca de 38 cms. de la tierra superficial, contenía un elevado nivel de cesium 137.

Las múltiples catástrofes por contaminación ambiental con altas dosis de radiaciones ocurridas en la Unión Soviética constituyen tristes evidencias de los peligros que encierra el proceso y de cómo empeora la situación cuando se suman los aspectos negativos propios de los regímenes totalitarios, con sus métodos represivos, su rígida censura y la propaganda oficial dedicada a tergiversar la verdad.

Las tragedias de Chernobyl y de Chelyabinsk no fueron las únicas catástrofes nucleares. Al igual que esta última, hubo otras que no se publicaron antes de producirse el colapso comunista. En esa época desdichada la verdad científica era sacrificada cuando la conveniencia política lo exigía; se despreciaba el valor de la vida humana y era doctrinaria la anestesia moral ante el dolor de las víctimas inocentes.

Hoy representa un grave problema la evacuación y la reubicación de poblaciones que durante años se vieron condenadas a permanecer en lugares no aptos para mantener la vida. Las autoridades responsables tenían que ocultar el fracaso de una tecnología deficiente sin tomar en cuenta los más elementales principios éticos. Como consecuencia, aumentó la incidencia de leucemia, de cáncer tiroideo y de otras neoplasias, al igual que se multiplicaron los defectos congénitos. Chelyabinsk se considera el lugar de mayor con-

taminación ambiental en el planeta. Con sólo permanecer en él durante una hora se puede recibir una dosis letal de radiaciones. Se ha reportado que en la década de los 80, en la Unión Soviética se produjeron unas 126 explosiones nucleares con supuestos "fines pacíficos." Entre las muchas zonas consideradas hoy extremadamente peligrosas por la radioactividad, sobresalen las siguientes:

1.- Como consecuencia de la explosión ocurrida en 1986 en la planta de Chernobyl existen altos niveles de toxicidad en la región sur de Ucrania, incluyendo las ciudades de Blyansk, Kaluga y Tula.

2.- En Siberia se hicieron detonar varias bombas subterráneas para aumentar las presiones de campos petrolíferos y de gas natural, al igual que para la creación de cavernas destinadas a almacenar residuos tóxicos. En la región de Yakut-Sakha se usaron unas 12 bombas para construir represas y para explotar las minas de diamantes.

3.-La explosión del depósito de residuos radioactivos, el día 29 de septiembre del 1957, en la factoría de Chelyabinsk, ubicada en la región occidental de la Siberia, produjo niveles de radiaciones 20 veces superiores a los alcanzados en Chernobyl.

4.- En el río Volga tuvieron efecto 26 explosiones nucleares. Se perturbó el curso natural del famoso río que perdió, así, su capacidad de autopurificarse. Hay lugares convertidos en depósitos de aguas insalubres con escasa circulación; y no es menos importante la contaminación de los huevos de esturión que ha sido recientemente confirmada y con la cual el caviar procedente de esa región se ha convertido en artículo de alto riesgo.

5.- Por lo menos siete bombas nucleares se hicieron estallar en las minas de sal cercanas al Mar Caspio, en un intento de producir depósitos subterráneos de petróleo semejantes a los reservorios naturales que tienen los EE. UU. en Louisiana.

Por todo lo dicho, uno de los principales objetivos de la próxima revolución energética será el control de la energía liberada mediante la *fusión nuclear*.

El deuterio que abunda en el agua de mar sería fuente inagotable de otro tipo de materia prima; el índice de eficiencia sería mucho más elevado y no existiría el peligro de contaminación ambiental como desgraciadamente ocurre con las radiaciones de alto poder energético emitidas durante el proceso de fisión nuclear. Antes de concluir este capítulo es conveniente incluir algunos comentarios adicionales.

#### ¿POR QUE BRILLAN LAS ESTRELLAS?

Aunque Prometeo robó el fuego de los cielos y lo trajo a la tierra oculto en un tallo hueco para burlar la vigilancia de Zeus, la modalidad con que nos obsequió sólo corresponde al fuego que desciende con los meteoritos, producido por la fricción del material sólido al atravesar las capas densas de la atmósfera. Este difiere mucho del fuego que hace brillar a las estrellas.

Los griegos nunca formularon las siguientes preguntas: ¿Cómo mantiene el Sol su incandescencia? ¿Cuál es el combustible? ¿Qué cantidad se consume en el proceso? Y todavía, llegamos a la época de Laplace (1749-1827) sin hallar preocupación al respecto.

Para ofrecer un ejemplo ilustrativo, basta decir que si el combustible fuera carbón de piedra, toda la masa solar se consumiría en sólo 5000 años.

El primero en proponer la fusión de cuatro átomos de hidrógeno en la síntesis de uno de helio, como fuente de la energía solar, fue Sir Arthur Stanley Eddington (1882-1944) y encontró fuerte oposición en hombres como Rutherford. En 1929, George Gamow, introdujo la cuantificación de la beta-degradación y en 1939, Hans Beth, expuso su teoría de fusión nuclear intraestelar que fue confirmada y refinada poco después del 1950. Obtuvo el Premio Nobel en 1967.

Sir Fred Hoyle explicó la nucleosíntesis del carbono y un trabajo memorable en astrofísica lleva la siguiente firma: B<sup>2</sup>HF. Las dos B corresponden a los esposos Margaret y Geoffrey Burbidge, la H a Fred Hoyle y la F a William Fowler.

Así se demostró que las estrellas son pilas atómicas siderales donde el proceso de nucleosíntesis proporciona la enorme cantidad de energía que se desprende de ellas. Y me asalta el deseo de brindar al lector unos versos de William Shakespeare, en los cuales el genio aborda problemas insolubles en su época.

Pongo en negritas el penúltimo de ellos para señalar su afinidad con el celebrado :**"Principio de Incertidumbre"** de Heisenberg, que rige la física moderna:

**"Duda que sean de fuego las estrellas.**

Duda que al Sol el movimiento falte.

Duda lo cierto, admite lo dudoso,

pero no dudes de mi amor las ansias.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

Adler, Mortimer J. and Wolff, Peter. The Great Ideas.  
Encyclopedia Britannica, Inc. 1959

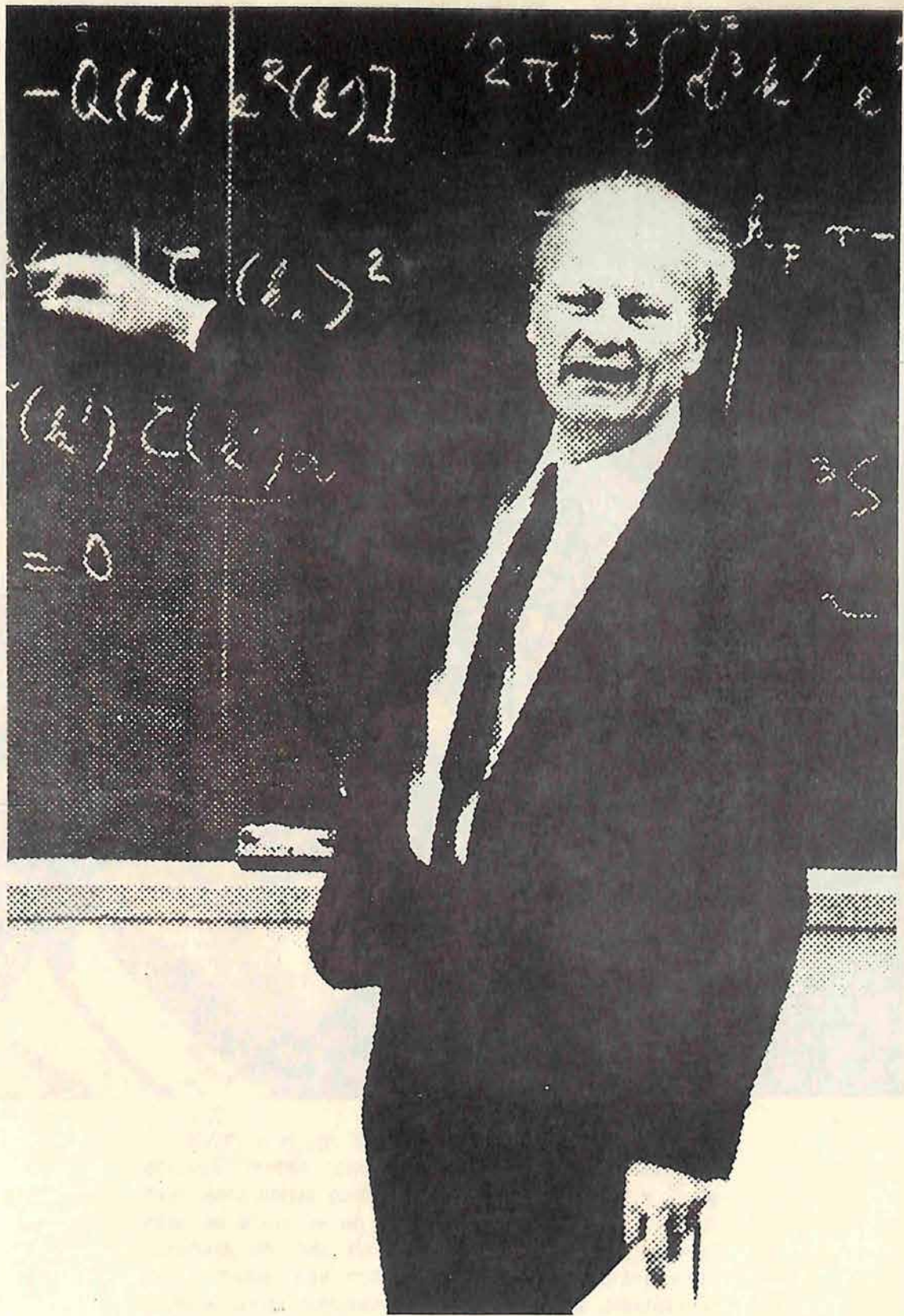
Asimov, Isaac. Asimov on Chemistry.  
Doubleday. 1974.

Durant, Will & Ariel. The Age of Voltaire  
MJF Books, 1992.

Encyclopedia Britannica.  
XV Edition. 1992

Iñiguez, Pablo.  
Desde el Hombre de Neanderthal hasta El Renacimiento.  
Amigo del Hogar 1990.

Jones, Rogers. Physics as Metaphor.  
Meridian. 1982



Hans Bethe, uno de los padres de la astrofísica. Fue incluido por George Gamow como co-autor de la teoría del Big Bang, para completar las tres primeras letras del abecedario griego ( $\alpha\beta\gamma$ ) en las iniciales de Alpher, Bethe y Gamow, como coincidencia con el origen del universo.



Sir Fred Hoyle, fue ascendido a la nobleza británica por sus grandes contribuciones al adelanto de las ciencias. Antagonista cordial de Gamow, al oponer a la de éste, su teoría de un universo con estabilidad continua, introdujo, en tono de burla, la expresión "Big Bang." Sin embargo, ese nombre se perpetuó y la teoría de Gamow fue progresivamente aceptada hasta desplazar la de Hoyle. Entre sus grandes logros hay que mencionar la difícil explicación de la nucleosíntesis del carbono en el interior de las estrellas y otras brillantes aportaciones a la astrofísica.



## UNAS BREVES SEMBLANZAS

La historia de las ciencias quedaría incompleta si además de relatar el acontecer científico no se vieran los protagonistas desde un punto de vista puramente humano. Por eso, deseo ofrecer algunos datos acerca de Priestley, Cavendish y Lavoisier.

Es indispensable ver al hombre junto al hecho trascendente en que ha dejado su huella y nos ha causado admiración. No es una excepción, sin embargo, hallar en un mismo personaje la grandeza del genio junto a la debilidad del ser humano.

Leonardo Da Vinci hizo ostensible, muchas veces, su inestabilidad emocional. Su actitud indisciplinada y antojadiza no sólo perjudicó la calidad de algunas de sus obras sino la preservación de otras y sus aberraciones psicosexuales motivaron lamentables escándalos que han pasado a la historia.

Miguel Angel, aunque no protagonizó episodios similares a los de Leonardo, mostró grandes inhibiciones en su esfera afectiva. Su conducta estuvo llena de excentricidades y su irritabilidad lo mantenía en un precario balance emocional.

Galileo mostró, en más de una ocasión, su oportunismo y la limitación de su sensibilidad ética. Al hacer demostraciones con los telescopios que construía daba a entender, maliciosamente, que ese instrumento era una invención suya, por lo cual fue objeto de justificada burla cuando se supo que ese mérito correspondía a los holan-

deses. Su conducta con respecto a Kepler fue considerada por Einstein como una triste evidencia de vanidad; y su egoísmo se hizo manifiesto al negarle a aquél la oportunidad de usar uno de sus telescopios mientras los regalaba a personas ajenas al quehacer científico, pero económicamente poderosas o de elevada posición social. Buscaba, así, ventajas y favores.

Un número considerable de encuestas destinadas a escoger las más grandes figuras científicas que ha tenido la humanidad, colocan unas veces a Newton y otras a Einstein, en primera posición. Sin embargo, las flaquezas del primero, como ser humano, fueron notables; y, a veces, han sido señaladas con más amargor que tolerancia. Su inclinación al ocultismo fue causa de que algunos lo llamaran brujo; su egocentrismo y su actitud desconfiada aun frente a los que pudieron ser sus mejores amigos, motivaron que en un momento dado se viera completamente solo y sin afectos. En sus severos períodos depresivos con manifestaciones paranoicas, escribió cartas injuriosas e infamantes en perjuicio de sus pocas amistades, las cuales, supieron perdonarlo, generosamente. Acosado por el temor de que otros sacaran provecho de sus conocimientos, escribió sus anotaciones del cálculo integral y diferencial en forma esotérica, lo que dio lugar a que los ingleses pasaran mucho tiempo sin obtener provecho de sus importantes descubrimientos mientras el sistema de Leibniz se propagaba en el continente europeo con relativa facilidad. Newton fue la negación de la interdependencia entre las ciencias y las humanidades; era prácticamente sordo para la música, veía las esculturas como muñecos de piedra y la poesía era para él algo

ingenioso carente de sentido. Se ha dicho que nunca supo lo que era el amor y todo parece indicar que murió virgen. No es sorprendente que rechazara, despectivamente, solicitudes de entrevistas que le hicieran personas con la estatura intelectual y los méritos de Voltaire y de Benjamin Franklin.

Cuando el Dr. John Arbuthnot obsequió al Marqués de l'Hopital con un ejemplar de la famosa obra "Principia," éste le preguntó de que color tenía Newton los cabellos y los ojos, si comía, si bebía y si dormía. Suponía que no era como los demás hombres. La respuesta satisfizo su curiosidad: "Newton era una fuerza de la naturaleza, brillante e inaccesible como una estrella."

Aldous Huxley dijo, en una ocasión, que Newton "como hombre era un fracaso, pero como monstruo, era magnífico."

Ahora bien, ¿pueden sus defectos, en modo alguno, restar méritos a su grandiosa obra? ¡Jamás! Simplemente, debemos admitir que no todas las virtudes han de converger en el héroe que idealizamos y colocamos en un elevado pedestal.

Probablemente, los defectos de Newton como ser humano, sólo surgirán cuando sean sacados a relucir en algún estudio de carácter psicológico, pero el monstruo de las ciencias, será siempre admirado, como uno de los más grandes valores que ha producido la humanidad.

Veamos lo que dice Einstein: " Newton, perdóname. Tú encontraste un camino único en tu época y que sólo era transitable para un hombre del más alto intelecto y el mayor poder creativo. Los conceptos que creaste guían todavía nuestros pensamientos físicos, aun-

que sabemos que ya deben ser reemplazados por otros más distantes de la esfera de nuestras experiencias inmediatas ..." Es necesario reconocer que si, en verdad, el estudio de las ciencias es fascinante, cuando tratamos de conocer la naturaleza humana, nuestro asombro puede ser equivalente a la sorpresa que nos produzca la más novedosa verdad científica.

El intelecto, el sentimiento, la conciencia, la sensibilidad ética, la percepción de lo estético, las virtudes y los vicios amalgamados en un número infinito de posibilidades y proporciones, ofrecen las más disímiles características en los ejemplares de nuestra especie.

Para el hombre es muy difícil entender al hombre, porque al querer hacer su propio estudio se convierte en sujeto y objeto a la vez. Es tan complicado el ser humano que debemos perdonar a Zeus por haber deseado destruirlo. Esa actitud, llena de desencanto y de frustración, se debió a su incapacidad para entenderlo. Zeus era la más poderosa deidad del Olimpo. ¡Pero no era Dios!

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

Ferris, Timothy. Coming of Age in the Milky Way  
Anchor Books, Doubleday. 1988.

Iñiguez, Pablo.

Desde el Hombre de Neanderthal hasta El Renacimiento.  
Amigo del Hogar. 1990

## JOSEPH PRIESTLEY

( 1 7 3 3 - 1 8 0 4 )

Priestley nació en Fieldhead, Yorkshire, el día 13 de marzo del 1733. Su madre murió cuando él contaba apenas siete años. Su educación estuvo a cargo de una tía suya que lo cuidó, esmeradamente. Fue un niño superdotado, con facilidad para adquirir los más variados conocimientos. Aprendió varios idiomas, incluyendo el árabe y el hebreo, pero su interés por otras ramas del conocimiento lo convertirían en autodidacta de las ciencias. Su padre era un predicador No-Conformista que contribuyó, sin duda, a que Joseph manifestara una marcada tendencia revolucionaria tanto en el aspecto religioso como en el político. A los 22 años de edad era predicador Unitario en Needham, Suffolk, y defendía ya a los colonizadores de Norte América en contra del rey George III.

En 1761, fue designado Profesor de Literatura en la Academia de Warrington donde, a la vez, estudió química.

En 1766, mientras hacía uno de sus frecuentes viajes a Londres, conoció a Benjamín Franklin. De las conversaciones sostenidas entre ellos nació, en Priestley, un genuino interés por la investigación científica. Fue el primero en establecer que el carbón era conductor de la electricidad. Su obra intitulada, "Historia de la Electricidad" fue publicada en el año 1767.

En 1772 se separó de la Iglesia y viajó por Europa como acompañante literario de Lord Shelburne, quien, en 1780, le otorgó una pensión vitalicia de 150 Libras.

Aceptó, en Birmingham, la posición de Ministro Adjunto en una naciente sociedad que se conocería luego como "Congresionalista."

Su simpatía por la Revolución Francesa colmó la tolerancia de las autoridades eclesiásticas y políticas que habían soportado con dificultad sus actitudes liberales y provocó que fuera perseguido con encono.

En 1791, una turba enardecida quemó su casa en Birmingham; tuvo que huir a Londres, pero allí encontró también evidente hostilidad y se vio obligado a renunciar de la Royal Society. Un año después, la Asamblea Francesa lo distinguió como "Ciudadano de Francia."

Entre sus aportaciones científicas vale la pena señalar su descubrimiento de que la fermentación de los granos producía un gas (reconocido más tarde como anhídrido carbónico o dióxido de carbono), con lo cual sentó las bases para la fabricación de las bebidas gaseosas que hoy consume todo el mundo.

Recogía los gases haciéndolos pasar por mercurio en vez de agua, lo que le permitió hacer importantes descubrimientos. Fue el primero en estudiar los gases hidrosolubles tales como el amonio.

En 1770, descubrió el dióxido de azufre, el fluoruro de silicón y el cloruro de hidrógeno. Sintetizó, además, el cloruro de amonio.

En el capítulo dedicado al fuego, se describió su descubrimiento del oxígeno y su errónea denominación de "aire deflogistado".

Su actitud ulterior con respecto a este descubrimiento y el significado que le atribuyó Lavoisier abre interrogantes de gran interés: ¿Por qué su espíritu revolucionario, tan notorio en su trayectoria política y religiosa no se manifestó, igualmente, en su pensamiento científico? ¿Por qué se aferró, conservadoramente, a la tradición del flogisto? ¿Influiría en su manera de pensar una justificada aversión a Lavoisier?

Evidentemente, éste, defraudó a Priestley al omitir el reconocimiento que merecía por haber descubierto el oxígeno y es muy probable que el espíritu de justicia y la rectitud del agraviado pudieran más que su inclinación revolucionaria. Así, un justificado resentimiento pudo obligarle a rechazar las nuevas ideas hasta convertirse en un reaccionario ante la revolución química.

En 1794, viajó a los Estados Unidos de América, donde ya se encontraban sus hijos. Entró por New York, pasó a Philadelphia, y allí, rechazó el cargo de Profesor de la Universidad de Pennsylvania, que había sido fundada por Benjamín Franklin.

Estableció la primera Iglesia Unitaria de América, en Pennsylvania, y en ese Estado de la Nueva Inglaterra, vivió la última década de su vida en un ambiente de paz y tranquilidad. En esa etapa final, alcanzó un lugar relevante en el ambiente intelectual como lo demuestra su amistad con Thomas Jefferson y otras personalidades de su época. Murió en Northumberland, Pennsylvania, el día 6 de febrero del año 1804.



REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

Asimov, Isaac. Asimov on Chemistry.  
Doubleday. 1974.

Encyclopedia Britannica. XV Edición. 1992.

Hutchins, Robert Maynard. Great Books of the Western World.  
University of Chicago. 1952.

## ANTOINE LAURENT LAVOISIER

( 1 7 4 3 - 1 7 9 4 )

Este genio, creador de una nueva ciencia, vino al mundo el día 26 de agosto del 1743. Su padre era abogado y, además, tenía actividades comerciales muy lucrativas. Antoine estudió leyes, matemáticas, botánica y química en el Colegio Mazarino. Debido a la influencia del Prof. G.F. Rouelle se interesó de manera especial en la química; y aunque a la edad de 21 años estaba totalmente preparado para ejercer la profesión de abogado, prefirió el laboratorio a los estrados.

Su primera publicación científica fue presentada en la Academia de Ciencias de Francia, en el 1765. Otro trabajo cuyo tema era la iluminación de la ciudad de París, fue presentado un año después y fue galardonado con Medalla de Oro por aquella institución, que lo recibió como miembro en el 1768.

Ya hemos visto que, en 1770, inició sus estudios acerca de la medición ponderal estricta de las sustancias involucradas en las reacciones químicas y que, con ellos, estableció la "Ley de la Conservación de las Masas." Le dio una interpretación totalmente diferente a los trabajos realizados por Priestley, con lo cual demostró la falsedad de la teoría del flogisto, destronó, al mismo tiempo, la antigua tradición griega de los cuatro elementos e introdujo, en su lugar, el concepto de la división del aire en oxígeno y nitrógeno, como dos elementos químicos hasta entonces desconocidos. Dándole, además, su

propia interpretación a los trabajos de Cavendish reconoció la existencia de otro nuevo elemento que al asociarse con el oxígeno formaba el agua. De donde nació el nombre de hidrógeno.

Fueron muchas las divergencias de criterios que surgieron en el ambiente científico ante el carácter revolucionario de esos nuevos conceptos, pero finalmente, Lavoisier impuso sus ideas y hoy es reconocido como el "Padre de la Química Moderna."

Es necesario señalar algunos aspectos controversiales y pequeños lunares que empañaron su imagen y contribuyeron al trágico final de su existencia. Entre otras cosas, Lavoisier omitió en sus publicaciones, los créditos que merecían Priestley y Cavendish por sus trabajos. Él se había reunido con Priestley, en París, en el mes de octubre del 1774 y éste le informó de los experimentos que había realizado en agosto. Lavoisier presentó los suyos a la Academia en abril del 1775 y no hizo mención de Priestley. Es posible, sin embargo, que no hubiera en él intención delictiva, sino que íntimamente menospreciara la labor de los demás.

Hay un enorme contraste entre la personalidad y la forma de vida de Lavoisier si se comparan con las de ambos investigadores sajones. Mientras Priestley dependía de recursos económicos relativamente modestos y Cavendish no le daba la menor importancia al dinero que tenía, Lavoisier disfrutaba ampliamente las ventajas de su posición económica. En plena adolescencia obtuvo de su padre una suma cuantiosa de dinero que hubiera convertido a muchos otros jóvenes en botarates y holgazanes, sin embargo, él nunca llevó una vida disipada ni licenciosa. Es casi inevitable que una persona favoreci-

da desde su infancia por la fortuna, adulada por la aristocracia y segura de la superioridad de su intelecto, desdeñara aquellas labores cuyas conclusiones él mismo refutaba de manera incontestable.

Pudo haber sido engreído, pero su trato con los hombres de ciencia que compartieron su ambiente intelectual, como fueron Lagrange, Turgot, Buffon, etc. lo presentan de otra manera.

Pudo ser indiferente a la suerte de los humildes, pero muchas de sus actuaciones nos demuestran todo lo contrario. Con respecto al valor del dinero que siempre tuvo a manos llenas y aunque se vio rodeado de toda clase de tentaciones, su vida fue guiada, primordialmente, por sus grandes inquietudes científicas.

Sus actividades económicas y políticas contribuyeron, a la realización de su obra inmortal pero, desgraciadamente, lo condujeron a un final trágico cuando todavía podía beneficiar a la humanidad con sus valiosos servicios.

Su fortuna le permitió construir el laboratorio más completo que existiera antes del siglo diecinueve. Su equipo incluía 250 instrumentos, trece mil matraces de vidrio, millares de preparaciones químicas y tres balanzas de precisión que fueron esenciales para sus investigaciones que, como hemos visto, se basaban en la exactitud de las medidas ponderales.

En una ocasión quemó dos diamantes para demostrar que esta piedra preciosa representaba una forma pura de carbono.

En 1769 ocupó un alto puesto en la llamada "Ferme Générale," una entidad privada, dedicada al cobro de los impuestos oficiales que despertó gran inconformidad por los métodos de extorsión y por la

evidente corrupción que había en el sistema de recaudaciones fiscales. En 1771 contrajo matrimonio con Marie Paulze, hija de un rico inversionista que también pertenecía a esa agrupación. Pero sus múltiples ocupaciones jamás interfirieron con su labor científica y en 1780 publicó su *Traité Élémentaire de Chimique*.

La Academia de Ciencias lo nombró junto con Guyton de Morveau, Fourcroy y Berthollet para crear un sistema de nomenclatura que se ajustara a los nuevos descubrimientos de la química.

En 1787, publicaron el "Metodo de una nomenclatura Química", donde muchos nombres tradicionales como los *polvos de algaroth, mantequilla de arsénico, flores de zinc, etc. fueron eliminados, mientras surgían el oxígeno, azote (hoy nitrógeno), ácido carbónico, etc.* Tuvo, también, una destacada posición en los controles de pesos y medidas; contribuyó notablemente a la instalación del sistema métrico decimal y su participación en el monopolio de la pólvora fue determinante para que se obtuviera una mejor calidad de la misma. En 1789, Lavoisier calificaba la pólvora francesa como la mejor de Europa y afirmaba que, con ella, Francia había contribuido, una vez más, a la independencia de los norteamericanos. Hay pruebas convincentes de que usó parte de sus cuantiosas ganancias para favorecer la agricultura y la salud pública y se le atribuyen actuaciones orientadas a combatir el hambre que padecía la clase pobre. En 1787 presentó unas memorias al Comptroller General Laurent de Villedeuil, con una lista de nueve condiciones demostrativas de la explotación a que estaba sometido el campesinado.

Esa actitud pudo ser prueba suficiente de su sensibilidad, de su espíritu de servicio y de su preocupación ante las condiciones de los pobres, pero el tribunal que lo envió a la guillotina prefirió ignorarla.

He aquí el texto de las citadas memorias:

"Seamos suficientemente claros para decir que hasta el reinado de Louis XVI el pueblo en Francia no significaba nada; solamente el poder, la autoridad y la riqueza del estado eran tomados en cuenta; la felicidad del pueblo, la libertad y el bienestar del individuo eran palabras que jamás caían en los oídos de los que establecían las reglas, estos no se percataban de que el verdadero objetivo de gobernar tiene que ser el incremento de la suma total del disfrute de felicidad y bienestar de todos los súbditos. El infortunado campesino gruñe en su coto, sin representación, sin que nadie defienda sus intereses y sin que un funcionario en los grandes departamentos de la administración se ocupe de él."

Como detalle adicional se menciona que, en una ocasión, trató desdefiosamente a Jean Paul Marat, cuando éste, sin base alguna, escribió unos artículos donde decía haber hallado la substancia responsable de la combustión. En los momentos de mayor efervescencia que se vivieron durante la Revolución Francesa, Lavoisier fue apresado y juzgado por un tribunal del pueblo, en el cual la voz de Marat tenía influencia decisiva y el 8 de mayo del año 1794, fue condenado a morir en la guillotina y ejecutado, antes de las 24 horas, en el lugar que hoy ocupa la Plaza de la Concordia.

Se ha dicho, sin confirmación, que para desestimar sus méritos durante el juicio, un miembro del tribunal proclamó que "La Revolución no necesitaba sabios."

Sus bienes fueron confiscados, su esposa quedó en la miseria y vivió al amparo de una vieja servidora de la familia.

Las palabras de Lagrange, brillante astrónomo y uno de los matemáticos más notables de su época, fueron lapidarias: "Sólo se requirió un instante para cortar esa cabeza, pero quizás un siglo no será suficiente para producir otra igual."

En 1795, el gobierno francés repudió la condena de Lavoisier y les fueron devueltas sus propiedades a la viuda.

En octubre de ese mismo año, el Liceo de Artes celebró unos funerales en su honor y la elegía estuvo a cargo del mismo Lagrange. He aquí sus palabras de cierre: "Víctima de la tiranía, amigo respetado de las artes, continúa vivo y, todavía, su genio sigue sirviendo a la humanidad."

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

Asimov, Isaac. *Asimov on Chemistry*.  
Doubleday. 1974.

Durant, Will & Ariel. *The Age of Voltaire*.  
MJF Books. 1992.

*Encyclopedia Britannica*. XV Edition. 1992.

Hutchins, Maynard Robert. *Great Books of the Western World*.  
The University of Chicago. 1952.



## SIR HENRY CAVENDISH

( 1731 - 1810 )

Este gran hombre de ciencia, siendo hijo del noble y adinerado inglés Lord Charles Cavendish, nació por casualidad en Francia, en la ciudad de Niza, el día 10 de octubre del 1731. Su madre, en precarias condiciones de salud que ponían en peligro el embarazo, quiso huir de un clima frío, húmedo e inclemente y, mientras buscaba refugio en la Riviera Francesa, la sorprendió el parto.

En 1742, Cavendish asistía a la escuela de Hackney; luego pasó a Peterhouse, en Cambridge, pero no llegó a graduarse debido a su temperamento tímido que no le permitía afrontar a los profesores, sobre todo en las pruebas de exámenes orales. Esta situación se originaba o por lo menos se acentuaba, por un mortificante defecto congénito, en su expresión hablada. Era tartamudo.

En 1766 publicó su famoso trabajo intitulado "Fictitious Air" en el que hace referencia al aire inflamable que, como ya se ha descrito, había identificado, erróneamente, con el flogisto y que Lavoisier bautizó, después, con el nombre de hidrógeno.

Sus magistrales "Experiments with Air" fueron publicados en "Philosophical Transactions" de 1784 y 1785. Ahí, describe la formación de agua al hacer pasar una descarga eléctrica por una mezcla de aire común con hidrógeno.

Sus estudios de física se anticiparon a la Ley de Ohm, según la cual "la corriente eléctrica que pasa por un conductor (expresada en amperes) a una temperatura constante, es directamente proporcional a la diferencia de potenciales (expresada en voltios) aplicada al conductor e inversamente proporcional a la resistencia expresada en ohms. Generalmente, esta ley se expresa con la ecuación:  $E=IR$ , donde la fuerza electromotriz medida en voltios (E) es igual a la corriente eléctrica (I) expresada en amperes, multiplicada por la resistencia (R) expresada en ohmios. La ley debe su nombre al físico alemán George S. Ohm (1787-1854). Aunque, en química, Cavendish permaneció leal a la teoría del flogisto, no manifestó contra las ideas de Lavoisier un rechazo equivalente al de Priestley. Llegó a admitir, inclusive, que las nuevas proposiciones del sabio francés podían tener fundamento.

Entre sus publicaciones científicas, sobresalen: "Phenomena of Electricity," (1771); "Discovery of the Composition of Water," (1784); "Freezing Point of Mercury," (1783); "Experiments to determine the Density of Earth," (1798); "An Improved Method for Graduating Astronomical Instruments," (1809).

Muchos de sus trabajos permanecieron inéditos hasta que James Clerk Maxwell\* los publicó en 1879.

---

\*James Clerk Maxwell fue otro de los grandes genios, también tartamudo, cuya infancia se vio afectada por la timidez y la soledad, pero a diferencia de Cavendish desarrolló un gran sentido del humor y al referirse, años después, al rechazo y las burlas de sus compañeros de infancia, decía: "Ellos nunca me entendieron, pero yo los entendía a ellos."

La personalidad de Cavendish nos ofrece aspectos verdaderamente desconcertantes. Aunque poseía grandes bienes de fortuna, vivió de espaldas al dinero; vestía estrafalariamente y no le interesaba la comida; sus inhibiciones emocionales le impidieron mantener relaciones afectivas que pudieran considerarse normales. Era tal su misoginia, que la sirvienta encargada de cuidar su casa, debía transitar por puertas y pasillos diferentes a los que él usaba. Es penoso imaginar su infelicidad, su soledad, su inseguridad y su temor constante a la vida y a los seres humanos. Su único refugio fue la investigación científica y su abstracción en esas labores se hizo legendaria.

Parece cierto que al faltarle la instrumentación adecuada para medir las corrientes eléctricas usaba sus propias manos para apreciar la intensidad de las cargas.

Sólo disfrutaba de alguna compañía que le fuera grata, en el ambiente de la Royal Society. Al morir, el 24 de febrero del 1810, dejó una apreciable fortuna que fue distribuida entre sus familiares y algunas instituciones. En 1874 le fue dedicado el Laboratorio de Física de la Universidad de Cambridge. Esta institución es una de las más prestigiosas del mundo. Ha albergado en su seno una lista interminable de nombres egregios cuyas investigaciones científicas cambiaron para siempre la física, la biología y el universo de nuestra civilización occidental. Basta recordar entre los nombres que hemos mencionado en esta obra a Sir Joseph John Thomson, Sir Ernest Rutherford, Sir William Bragg, Sir Lawrence Bragg, Max Perutz, Francis Crick, James Watson y muchos otros inmortales de la ciencia.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

Asimov, Isaac. Asimov on Chemistry.  
Doubleday. 1974

Encyclopedia Britannica. XV Edit. 1992.

Hutchins, Maynard Robert. Great Books of the Western World  
The University of Chicago. 1952.

Schwinger, Julian. Einstein's Legacy.  
Scientific American Library. 1986.

## LA NATURALEZA HUMANA

El uso de esta conocida expresión se extiende desde el coloquio familiar hasta el ambiente académico y no es fácil definir exactamente todo lo que ella encierra. Puede señalarse, de manera incidental, que Edward O. Wilson, famoso entomólogo que mencionaremos más de una vez, intituló de esa manera una de sus obras más celebradas. Es obvio que este título lleva el señalamiento implícito de las actitudes propias del ser humano tanto en las relaciones con sus congéneres como frente al ambiente en que se desenvuelve.

Pero si pretendemos adquirir una mejor idea de esa "Naturaleza Humana" quizás sea necesario cavar muy hondo en los estratos biológicos para poder alcanzar sus orígenes. A ese respecto puedo recomendar, enfáticamente, la lectura, de la excelente obra de E. Mayr intitulada "Toward a New Philosophy of Biology" y la muy discutida "Sociobiology: The New Synthesis" de Wilson, donde este controversial investigador explica muchas de sus muy discutidas e interesantes ideas.

Mientras tanto, se da por aceptado que el *Homo sapiens*, colocado en la cima del proceso evolucionista característico del biocosmos, es el resultado de una acumulación progresiva de información genética y de cambios que permiten seleccionar los diferentes mecanismos de adaptación al ambiente.

Esa adaptación no sólo permite la supervivencia, sino que facilita la reproducción encargada de perpetuar la especie.

En el hombre, como en todo ser vivo, el (ADN) ácido deoxiribonucleico, es la molécula encargada de transmitir y perpetuar la programación determinante de las características del *genotipo*.

Cada programa contenido en una molécula de ADN representa una combinación singular de millares de genes diferentes. Al mismo tiempo, la interacción constante de ese genotipo con las variaciones ambientales contribuirá a delinear las propiedades del organismo que constituye el objeto de nuestro estudio, esto es, el *fenotipo*. Debe señalarse que ambos factores son imprescindibles para obtener una visión integral del hombre, pues sólo así se evitarían errores frecuentemente provocados por un enfoque unilateral de la situación o por concederle importancia excesiva a un aspecto en detrimento del otro.

#### EL LEGADO FREUDIANO.

Freud, originalmente, dio a sus estudios una orientación mecanicista y reconoció la importancia de la genética. Sin embargo, en sus ponencias más conocidas, consideró como causa principal de importantes perturbaciones psíquicas la represión hacia la esfera subconsciente de vivencias acumuladas desde la primera infancia cuyas cargas de temor, culpabilidad y agresividad, resultaban insostenibles para la esfera consciente. El simbolismo básico de esos mecanismos lo representaban las aberraciones psicosexuales originadas en los complejos de *Edipo* y *Electra*.

Uno de los fundamentos del tratamiento psicoanalítico consistía en descubrir ese contenido reprimido y convertirlo en una experiencia tolerable con posibilidad de permanecer en la esfera consciente después de la " *catarsis*."

De ese modo, Freud pasó del terreno científico a las concepciones abstractas de la psicología.

Como expone Gerald M. Edelman, consagrado Premio Nobel de Fisiología, en su excelente obra "Bright Air, Brilliant Fire. On the Matter of the Mind", publicada en 1992, hombres de la talla intelectual de Jacques Monod, calificaron a Freud de anticientífico y charlatán, mientras el mismo Edelman, no sólo reconoce sus valiosas aportaciones sino que apuntala el concepto del subconsciente, al ofrecerle una base de sustentación orgánica con los "mapas de distribución de las neuronas" que, a su juicio, son esenciales para interpretar el funcionamiento del cerebro.

Para Edelman, las interconexiones de las neuronas no pueden compararse con una red telegráfica ni con los circuitos de la computadora, sino con el entrecruzamiento de las ramas de los árboles en una selva. Expone, de manera explícita, que la concepción freudiana del subconsciente es consistente con los actuales planteamientos acerca de la estructura y la fisiología de nuestro cerebro.

A su vez, algunos entusiastas de las implicaciones biomoleculares y de la psicogenética, aducen que cuando el paciente relata sus vivencias desagradables amparado por la imagen protectora del médico y los beneficios del tratamiento, tiene la oportunidad de crear en las sinapsis, circuitos diferentes que contribuyen a reprodu-

cir esas vivencias sin las insorportables cargas de angustia que ocasionaron la primera vez. Los mismos neurotransmisores y receptores pueden conducir reacciones emocionales diferentes. De ese modo, el proceso adquiere una explicación material que hace innecesario recurrir a la naturaleza abstracta de la mente y a la base edipiana del psicoanálisis.

Carl G. Jung, fue el más brillante discípulo de Freud, se dice de él, que abandonó la bata de médico por la toga de profesor para cambiar luego, ésta, por el hábito de sacerdote. Dejó a un lado el pansexualismo freudiano y creó su propia escuela con una filosofía diferente y una imagen más amplia de la mente. Al introducir su concepción del "*Inconsciente colectivo*" y la noción de su "*arquetipo*", señaló la similitud simbólica de ritos y costumbres entre culturas y civilizaciones distantes tanto en el tiempo como en sus ubicaciones geográficas.

#### LAS PERSONALIDADES PSIQUICAS.

La concepción eugeneticista introducida por Sir Francis Galton (1822-1911) antes de los trabajos de Mendel y, apuntalada hoy con el conocimiento del gene, ha inducido a delinear las llamadas "personalidades psíquicas" para agrupar en ellas a los diferentes fenotipos mediante la asociación de algunas características dependientes de su constitución genética. A partir, básicamente, de la inteligencia, la sensibilidad de conciencia, la reactividad emocional y la evolución psico-sexual, se establecen demarcaciones que nos permiten encasillar a los sujetos en estudio según esos atributos.



Cada uno de los factores mencionados representa una condición innata que puede ser cultivada, pero no alterada cuantitativamente. Esto implica que cuando una persona nace con inteligencia X puede adquirir mayor o menor cantidad de conocimientos según la educación y la disciplina pedagógica a que sea sometida, pero nunca podrá aumentar su nivel de inteligencia por encima de X.

De igual manera, el que nace indiferente e indolente no puede vencer las limitaciones de su sensibilidad emotiva para experimentar una gama normal de emociones.

La manera de expresar lo que se siente estará íntimamente relacionada con la reactividad del individuo frente a las modificaciones ambientales. Condición que se adquiere antes de nacer.

El que carece de sensibilidad de conciencia no puede percibir el sentimiento de culpa que produce la comisión de actos reñidos con la moral y a espaldas de la ética. Esa persona, no siente el remordimiento que en ese caso padecería, alguien genéticamente dotado de dicha sensibilidad y, sobre todo, *no puede aprender a sentirlo*.

Las limitaciones perceptivas de una persona ante las variaciones del ambiente le impiden vibrar ante un atardecer, cuya belleza le pasa inadvertida, mientras un poeta escribe versos, inspirado en la misma puesta de sol.

Partiendo de estas premisas, se han definido *la personalidad neurótica, la personalidad esquizoide, la personalidad psicopática, la homosexual, etc.*

Estas entidades, incluyen a personas cuyas conductas se pueden considerar como normales, pero que en determinadas circuns-

tancias pueden salirse de esos límites. Sin embargo, es útil aclarar que cuando eso ocurre, quien posee una de esas personalidades psíquicas, nunca desarrollará el cuadro patológico correspondiente a otra. Esto implica, que el neurótico evolucionará hacia una neurosis, pero no desarrollará una esquizofrenia. De igual manera, el esquizoide evolucionará hacia la esquizofrenia aunque las manifestaciones de esta condición, a veces, presentan aspectos cuya interpretación puede conducir a diagnósticos erróneos que parecerían contradecir los principios establecidos.

El neurótico posee, generalmente, una inteligencia normal o por encima del promedio. La esfera intelectual no es la fuente de sus perturbaciones. Aquí, las alteraciones radican en la esfera emocional, donde predominan el temor excesivo y los sentimientos de culpa, siempre asociados a una reactividad exagerada. Además, el neurótico tiende a somatizar su desequilibrio emocional con las sintomatologías más variadas.

En el esquizoide, en cambio, predominan las alteraciones de la esfera intelectual que se delatan con señales ominosas desde la infancia. Estos niños lucen inteligentes y muestran una aparente madurez que no corresponde a su corta edad; tienden a ser solitarios, introvertidos y, por lo general, no disfrutan de las diversiones que entretienen a sus compañeros. Esas peculiaridades son interpretadas erróneamente por los familiares, quienes los creen superdotados. Pero al salir de la adolescencia, suelen hacer crisis, pierden contacto con la realidad y toman actitudes que delatan su condición patológica. En casos severos pueden haber alucinaciones.

En la personalidad psicopática las perturbaciones más notorias corresponden a la sensibilidad de conciencia, mientras en la esfera intelectual se puede conservar un mecanismo aparentemente lógico. Sin embargo, los silogismos, aunque correctos a primera vista, encierran contenidos discordantes. Muy comúnmente, estas personas exageran la culpabilidad en los demás mientras consideran su actitud siempre correcta. El psicópata, con la pretensión de hacer justicia, es capaz de cometer un crimen horrendo contra una persona a la que acusa de cometer faltas, por lo general no existentes.

La personalidad homosexual es, actualmente, motivo de controversias científicas y de derechos. Un grupo del National Cancer Institute, reportó en la revista Science, que en las familias de 76 hombres homosexuales había una incidencia de homosexualidad mucho más elevada que en el promedio de la población y hallaron alteraciones genéticas en la línea materna relacionadas con el cromosoma X. La implicación de un componente genético podría colocar al homosexual en una posición menos vulnerable.

Es fácil ver la distancia que existe entre las concepciones freudianas y la diferenciación de las personalidades psíquicas con fundamento genético. Aunque nadie puede regatearle a Freud sus innegables méritos, el valor histórico del psicoanálisis ortodoxo excede, ampliamente, su valor clínico. Las aportaciones del maestro estimularon notoriamente el estudio del ser humano y, para ponerlo en un elevado pedestal, bastaría mencionar su concepción de la libido, su evaluación de la esfera psicosexual y la introducción del

subconsciente que, como acabamos de ver, ha sido modernamente apuntalada. Por otra parte, todo el que posee entrenamiento psicoterapéutico sabe muy bien que, sin llegar al psicoanálisis profundo, es posible obtener una mejoría transitoria de la crisis neurótica si le damos al paciente la oportunidad de externar los motivos de angustia que es capaz de reconocer. No hay medicación ansiolítica que pueda igualar los resultados que se obtienen cuando la tolerancia y la comprensión substituyen al rechazo y al trato despectivo que con frecuencia reciben estos enfermos. Los familiares se hastían de sus quejas y les dan la espalda. La mayoría de los médicos, les temen y los rechazan porque sus tratamientos, carentes de una orientación psicósomática, están destinados al fracaso y esos pobres resultados son motivo de íntimo disgusto para los facultativos, que ante su incapacidad para aliviar las dolencias del infeliz enfermo, traducen su frustración en aversión hacia él.

Es un hecho que el tratamiento psicoanalítico puede beneficiar a los neuróticos pero, por razones obvias, resulta inoperante frente al cuadro alienante que caracteriza a la esquizofrenia.

Las perturbaciones emocionales están íntimamente relacionadas con los estímulos ambientales; la ansiedad y la angustia son productos de nuestra percepción témporoespacial con temor a lo futuro. En cambio, las perturbaciones de la esfera intelectual, propias de la esquizofrenia, no dependen tanto de las variaciones ambientales como de los componentes psicogenéticos. A mayor componente endógeno menor influencia exógena.

### LAS LUCHAS IDEOLOGICAS.

En un momento dado, las proyecciones de las escuelas señaladas se extendieron mucho más allá de la psiquiatría y del interés por conocer la privilegiada mente del hombre.

Durante décadas sus implicaciones políticas y filosóficas motivaron acalorados debates de triste recordación. Por motivos no valederos y en franca contradicción ideológica, la escuela freudiana recibió el apoyo de los ambientalistas, de los liberales y de los revolucionarios.

La psiquiatría soviética, aunque se apartó del psicoanálisis, extendió los alcances de la concepción ambientalista cuando atribuyó mayor importancia al aspecto de la adaptabilidad al régimen social que al propio individuo. Es obvio, sin embargo, que todos esos grupos tenían, en común, la oposición irrestricta a las implicaciones geneticistas dominantes en la definición de las personalidades psíquicas. Temían que la existencia material del gene apuntalara la plataforma nazista de la superioridad racial y le diera fuerza a los argumentos "reaccionarios" para justificar los privilegios de castas y clases en los más injustos regímenes sociales. Al mismo tiempo, la admisión de componentes genéticos podría justificar los derechos individuales y debilitar la imposición de restricciones antinaturales dictadas por los severos controles del régimen.

Los ambientalistas han argumentado que, la pobreza, el mal ejemplo de los padres carentes de educación y cargados de malos hábitos y vicios, junto a la falta de oportunidades y la carencia de recursos, contribuyen a definir las características y la conducta de

los desposeídos, más que el supuesto componente genético. Aunque científicos, filósofos y escritores tan renombrados como lo son H. G. Wells y George Bernard Shaw, reconocieron los méritos de la concepción eugenicista, la efervescencia política que se extendió a todas las latitudes después de la segunda guerra mundial impuso de manera aplastante el criterio de los ambientalistas.

Pero, inevitablemente, cuando las pasiones políticas interfieren con la investigación científica, la contaminan, la adulteran, la desnaturalizan y reducen su productividad. Se engendran las más descabelladas actitudes, como ocurrió en la Unión Soviética cuando Trofim Denisovich Lysenko, favorito de Stalin, pretendió excluir de la biología los capítulos dedicados a la herencia y persiguió a todo el que pensaba de otro modo con la acusación, temible en esa época, de "contrarrevolucionario" o "reaccionario intelectual seguidor de las ideas sustentadas por los geneticistas burgueses occidentales."

Es de notar que los ataques de Lysenko ocurrían en 1948, cuatro años después de la publicación de los trabajos de Oswald Avery y sus colaboradores del Rockefeller Institute de New York, en "The Journal of Experimental Medicine", considerados como prueba rigurosa de que el gene era ADN.

Una vez más se demostraba cuan profundamente puede el poder político perjudicar a la ciencia. La negación de la existencia del gene como una entidad material contribuía a presentar la mente humana como algo insubstancial. Esto hacía innecesaria su relación con estructuras orgánicas y cambios bioquímicos.

Así, al pretender explicar la característica más representativa del hombre, las figuras más connotadas del llamado "materialismo histórico" prefirieron acercarse al animismo y negar la realidad física de estructuras experimentalmente demostrables.

¡Hasta dónde puede llegar la miopía intelectual cuando es alimentada por el fanatismo!

Hoy, a la luz de los conocimientos más recientemente adquiridos, resulta evidente que la complejidad del cerebro y la impenetrabilidad de los misterios de la mente, traspasan los límites de la bioquímica, de los neurotransmisores y receptores, cuyo número se multiplica a medida que avanzan las investigaciones.

Las maravillas del intelecto y del sentimiento van más allá de los genes y sus derivaciones enzimáticas; más allá de los modelos comparables a super-computadoras y más allá de nuestras vanas pretensiones.

¡ Pero no nos obligan a aceptar el animismo!

Es evidente que nuestros conocimientos acerca de la física prebiótica no pueden brindarnos, por ahora, las soluciones que buscamos acerca de lo que es la vida ni pueden tampoco explicarnos el funcionamiento del cerebro; ese órgano maravilloso, que ha hecho, de la nuestra, una especie privilegiada. Pero eso no implica, en modo alguno, que las respuestas han de ser metafísicas. Simplemente hay que reconocer nuestra enorme ignorancia en lo concerniente al aspecto biológico de la física, esto es, a la física de los seres vivos.

Los incipientes pasos de avance que se han logrado en el estudio de las complejidades y las situaciones caóticas; la ampliación de

la mecánica cuántica hasta explicar los secretos de la actividad enzimática y la aportación de nuevos conceptos que todavía no podemos visualizar, extenderán nuestros horizontes de manera insospechada, pero sin violar las constantes físicas ni las leyes que rigen el universo de la física prebiótica.

Estas restricciones pueden ser irritantes para los amantes de la ciencia-ficción y para los que ignoran nuestra actual realidad científica. Pero vale la pena señalar las siguientes frases de una figura con la talla intelectual de John A. Wheeler: "Un universo en el cual una u otra de las constantes fundamentales de la física fuera alterada por un pequeño porcentaje en una u otra dirección, no habría permitido el desarrollo de un ser como el *Homo sapiens*."

Por otra parte, el progreso en las concepciones teóricas que ha experimentado la ciencia ha sido aditivo y acumulativo. Todas las innovaciones introducidas han tenido que someterse a las restricciones que imponen las leyes y las constantes universales. La teoría de la relatividad de Einstein, por ejemplo, cuyas consecuencias contra-intuitivas parecieron increíbles a muchos hombres de ciencia de su época, no constituye una contradicción a la mecánica de Newton. Simplemente es un refinamiento del conocimiento ya adquirido, y las ecuaciones relativistas pueden derivarse de las mismas ecuaciones newtonianas.

Como ya se ha visto, los recientes avances en el estudio de las complejidades y las situaciones caóticas están abriendo nuevos caminos que quizás permitan penetrar, más profundamente, en los oscuros laberintos de las ciencias y, sobre todo, de la biología.



REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

Dyson, Freeman. From Eros to Gaia.  
Pantheon. 1992.

Edelman, Gerald M. Bright Air, Brilliant Fire.  
Harper Collins. 1992.

Hutchins, Maynard R. Great Books of the Western World.  
University of Chicago. 1952.

Lewin, Roger. Complexity. Life at the Edge of Chaos.  
Macmillan Publishing Company. 1992.

Margulis, Lynn and Sagan Dorion. Microcosmos.  
Simon and Schuster. 1986.

Mayr, Ernst. Toward a New Philosophy of Biology.  
Harvard University Press. 1988.

White, Victor. Dios y el Inconsciente.  
Editorial Gredos. 1955.

Wright, Robert. Three Scientists and Their Gods.  
Harper and Row. 1988.

## SOCIOBIOLOGIA

### NUNCA FALTARAN TEMAS CONTROVERSIALES.

Muchas épocas se han caracterizado por las manifestaciones de antagonismo entre la religión y la ciencia. Consecuentemente, no son pocos los que han pensado que el científico debe ser ateo.

En la actualidad, sin embargo, son muchos los connotados hombres de ciencia que admiten la necesidad de Dios. Pero con frecuencia la tea de la discordia es encendida por personas que pretenden ser conocedoras, exclusivas, del pensamiento divino.

El escenario que ofrece este capítulo nos permite apreciar las diferentes posturas adquiridas por algunos destacados protagonistas. Ernst Mayr, por ejemplo, nos deja ver en sus obras que su religión es el Evolucionismo y Charles Darwin, su Profeta.

Edward O. Wilson, a su vez, nació el día 10 de junio del 1929, en Birmingham, Alabama. Creció en un hogar imbuído de la más estricta religiosidad, nunca se ha apartado de su iglesia y es, también, un entusiasta evolucionista.

Muchas personas aceptan, sin reparos, la compatibilidad de ambas actitudes y consideran innecesarias las posturas antagónicas entre el Evolucionismo y la religión.

Pero al postular Wilson que nuestros patrones de conducta como seres humanos dependen de componentes genéticos y atribuirles naturaleza biológica a la moral y a la ética, las ha colocado en

íntima relación con el Evolucionismo y ha provocado gritos de protesta, lanzados por los que ven a nuestro sentido ético y a nuestra moral, como atributos que nos fueron dados por mandato divino.

Algunos atribuyen al proceso evolucionista el propósito de conducir a la existencia del hombre como observador consciente del universo, dotado de sentimiento y guiado por un sentido ético con la finalidad de acercarse a Dios. Todo estaría ordenado por una inteligencia suprema y caeríamos, nuevamente, en los dictados teleológicos.

Otros dan muestras de mayor intolerancia en nombre de la teología. Adams Sedgwick, expresa, por ejemplo, que "al substituir los designios de Dios por un proceso estrictamente material se le están negando a la moralidad sus verdaderos fundamentos."

En mi libro, *Dialéctica del Biocosmos*, se analizan las diferentes virtudes, más detenidamente, y se incluyen aportes de Sócrates, Platón, Aristóteles, San Agustín, Santo Tomás de Aquino, Spinoza y de otros connotados personajes.

Una vez más, es valedera la pregunta que he formulado en otras ocasiones: ¿Quién pudo prohibirle a Dios que incluyera el Evolucionismo en su maravillosa Creación?

El fanático puede expresar su desagrado y decir que la pregunta es capciosa, pero cualquier persona sensata sabe que su propia respuesta la justifica.

No es ilógico, además, proponer que el sentido ético y la moralidad representan verdaderos mecanismos de adaptación que facilitan y hacen más grata la convivencia, en beneficio de la especie.

Cuando Wilson era un joven profesor sin nombradía que deambulaba por los pasillos de la Universidad de Harvard en busca de soporte económico para realizar sus investigaciones, Ernst Mayr, era ya, una autoridad consagrada en los terrenos de la biología. Es interesante hacer notar que, en esa época, era difícil obtener donaciones (grants) para financiar investigaciones biológicas. Los privilegiados, en ese aspecto, eran los físicos nucleares.

Muchos no reconocían aún a la biología como parte de la "filosofía de las ciencias." Todavía, en 1974, se le oía decir a Karl Popper: "El Darwinismo no es una teoría científicamente comprobable sino un programa de investigación metafísica."

La trayectoria de Wilson para llegar a los pronunciamientos de su sociobiología, puede apreciarse al revisar sus diferentes publicaciones. La obra intitulada, *Biophilia*, puede ser considerada prácticamente autobiográfica. *The Insect Societies*, escrita en 1971, lo consagró como uno de los más destacados entomólogos y en ella se expresa así: "La hormiga puede considerarse, desde varios puntos de vista, como el primero de los insectos sociales." La obra intitulada, *Sociobiology: The New Synthesis*, de la que nos ocupamos en estos momentos, fue publicada en 1975 y consta de 697 páginas.

*Human Nature*, publicado en 1978, lo hizo merecedor del Premio Pulitzer, para obras cuyos temas no fueran ficticios.

Antes de ingresar en la Universidad, Wilson llegó a decir: "Al adquirir el convencimiento de que todo lo concerniente a los animales podía ser explicado con verdadero sentido científico, mis puntos de vista sufrieron una gran transformación. En primer lugar, vi la in-

discutible unidad del universo." Postuló, entonces, que las creencias religiosas tenían fundamento genético y cuando, finalmente, logró identificarse con el ambiente universitario, la obra de Mayr, *Systematics and the Origin of Species*, adquirió para él la categoría de una cartilla evangelizadora.

En una ocasión en que Wilson trabajaba en Puerto Rico tuvo bajo su tutela a Stuart Altmann, quien hacía estudios con monos macacus. Altmann, fue quien acuñó el término "sociobiología" que, más tarde, sería definido por su preceptor como *el estudio de las bases biológicas del comportamiento social en todos los animales, incluyendo el hombre.*"

#### MECANISMOS BIOLÓGICOS DE COMUNICACION.

El famoso zoólogo austriaco Konrad Lorenz, estudió las señales, generalmente visuales o auditivas, que desencadenaban secuencias estereotipadas de conducta en las aves y otros animales. Lorenz relacionó dichas señales con lo que él llamó "releasers". Más tarde, surgió el término "feromonas" que incluye otros medios de comunicación.

Al escuchar Wilson una de las conferencias de Lorenz, vio la posibilidad de que algunas sustancias químicas jugaran un papel importante en la vida social de los insectos. Años más tarde, tuvo la oportunidad de comprobar esa idea. Tomó un espécimen de *Solenopsis invicta* y buscó el lugar del cuerpo de donde emana el olor que estas hormigas dejan a su paso. Aisló los tres órganos que le parecieron candidatos de mayores posibilidades y los lavó.

Esa operación, sencilla en apariencia, tiene sus dificultades técnicas por lo diminuto de cada uno de los órganos de la hormiga. Hizo una pulpa de cada tejido separado y comprobó que el lugar de procedencia eran las llamadas glándulas de Dufour, localizadas en la base del aguijón. Al colocar en las cercanías de una colonia de hormigas un pedazo de vidrio en el cual se había depositado ese material, docenas de ellas se movilizaban hacia el lugar y al llegar se detenían como si se preguntaran qué debían hacer.

¡Wilson había encontrado el origen de los marcadores químicos que mantienen a las hormigas en una fila ordenada durante sus largas caminatas!

Hoy se conocen feromonas que a kilómetros de distancia condicionan, por el olfato, la atracción sexual en muchas especies.

Antes de que Wilson realizara las investigaciones que permitieron localizar las fuentes de las feromonas ya existía la sospecha de que las hormigas usaban señales químicas, pero se ignoraba cuál era el mecanismo coordinador de todo lo que contenía la comunicación. Simultáneamente, un entomólogo alemán, Martin Lindauer, aislaba en otra especie de hormiga, una feromona de alarma y llegó a establecer, por primera vez, la constitución química de esas sustancias. La señal de alarma de la *Acanthomyops*, por ejemplo, es esencia de citronella. Ahora bien, es necesario señalar la diferencia entre el solo hecho de dejar un rastro y *la transmisión completa de un mensaje*. Y este fue el objeto de estudio escogido por Wilson, quien llegó a descifrar el significado de varias feromonas en diferentes especies de hormigas.

Una, equivalía a la señal: "Sígueme," otra decía: "¡Alerta, hay señal de peligro!" Una feromona lleva el siguiente mensaje: "Ayúdame a limpiar mi cuerpo, hay sitios que no puedo alcanzar." Cuando muere una hormiga produce una sustancia que equivale a decir: "Estoy muerta, quítame del camino, sólo soy un obstáculo."

Hay, además, evidencias de que los mensajes pueden ser combinados por emisión de más de una feromona a la vez. De ese modo puede transmitirse lo siguiente: "Estoy en este sitio y estoy en peligro." Con el deseo de codificar los posibles mensajes intercambiados en el sistema de información por feromonas, Wilson se asoció a William Bossert cuando éste era todavía un estudiante de matemáticas aplicadas en la Universidad de Harvard. En esa misma época, Claud Shannon, introdujo sus ideas acerca de la entropía en los medios de comunicación.

#### LOS GENES Y EL ALTRUISMO.

Los problemas, en biología, tienden a crear situaciones cada vez más complejas. La conducta de algunas hormigas, por ejemplo, al contacto con ciertas feromonas, crea interrogantes difíciles de contestar. ¿Por qué algunas señales inducen a la autodestrucción de individuos seleccionados, en contradicción aparente con la debida preservación del mejor adaptado según manda el Evolucionismo, sin aparente compensación por el sacrificio? Aunque se considera el altruismo como una ventaja para la comunidad, los argumentos, a veces, son controvertibles. Si bien, una sociedad en la que predomine el egoísmo no puede avanzar tan favorablemente como otra, en la que

sus integrantes sean altruistas, se requieren evidencias más convincentes para contestar las preguntas del párrafo anterior. Entre los insectos puede citarse el caso de la abeja que, al cumplir la misión defensiva para la cual está programada, ataca al enemigo, clava su aguijón, se abre las entrañas y perece. La especie de hormiga *Campopnotus saundersi*, para defender su territorio ante un invasor, hace estallar su cuerpo mediante contracciones bruscas de sus músculos abdominales y cubre el terreno circundante con la substancia pegajosa que sale de su cuerpo para que los intrusos queden adheridos a ella.

Como ejemplo de altruismo a nivel de mamíferos, pueden citarse unas especies de marmotas, (*Cynomys*), mejor conocidas como "prairie dogs," que habitan en las llanuras americanas. Constituyen unas cinco especies de la familia de las ardillas (*Sciuridae*) del orden de los roedores (*Rodentia*), cuyo nombre procede del agudo ruido, semejante a un ladrido, con que se comunican. Son animales gregarios que viven en colonias con territorios bien delimitados.

Hay, en cada grupo, un macho dominante acompañado de varias hembras y otros machos jóvenes inmaduros. Entre sus hábitos se observan frecuentes manifestaciones de caricias y besos que crean estrechos lazos entre los miembros de la colonia. El macho encargado de proteger a todo el grupo se coloca, por lo general, en un punto de observación desde el cual puede ver si se acerca un lobo o un coyote. En ese caso ladra desafiante para llamar la atención y muere en lucha desigual con el depredador. Pero, de ese modo, le ofrece a sus acompañantes la oportunidad de ponerse a salvo.



Se ha dicho que esa protección de la parentela representa el mecanismo de preservación de los genes que inducen a la actitud de sacrificio, porque el objetivo no es preservar al individuo sino al gene mismo y al salvarse la manada se compensa con creces la pérdida de los genes en el ejemplar sacrificado. La teoría de la protección de la parentela, aunque implícita en la obra de Darwin no había sido expresada, matemáticamente, hasta el 1964, cuando William Hamilton acometió con entusiasmo la tarea. A este colega de Wilson le inquietaba la conducta de los insectos pertenecientes al orden de los himenópteros (cuya etimología procede de: Hymen= membrana y pteron=alas). Este orden incluye las abejas, las avispas y las hormigas, únicos insectos que poseen una organización social avanzada, a excepción del *comején* o *termita* (del latín *termes*) que pertenece a los *arquípteros* y no tienen alas (*ápteros*).

Entre las características peculiares de los himenópteros es conveniente señalar ciertos aspectos relacionados con sus mecanismos de reproducción. Algunos de sus huevos producen descendencia por partenogénesis, esto es, sin la participación del macho y, de hecho, el sexo de una hormiga depende de si el huevo que le dio origen fue o no fecundado. Pero todavía se agrega otra aparente paradoja, pues el huevo fertilizado por la esperma del macho produce una hormiga hembra, mientras el huevo que no ha sido fertilizado por el macho produce una hormiga macho.

Consecuentemente, las células espermáticas de cada macho son idénticas, pues su único componente genético procede de la madre.

Por tanto, sus hijas, en vez de heredar un 50% y 50% de diferenciación genética, como ocurre en el ser humano, alcanzarán un 75% de similitud genética. Estas cifras tienen gran interés desde el punto de vista evolucionista, pues explica la relación entre el significado del individuo y lo que representa la parentela para la preservación de los genes.

Según Hamilton, *ese es el origen de la tendencia a la organización social que ostentan los himenópteros.*

En 1967, Wilson publicó su, *Theory of Island Biogeography*, en colaboración con el matemático Robert H. MacArthur, una joven promesa desaparecida a destiempo, pues murió de cáncer en 1972, a la edad de 42 años. Fue reconocido como el más grande ecologista de su generación y Wilson lo definió como "el único genio verdadero" que había conocido.

#### ORGANIZACION DE LOS INSECTOS.

EL primer libro escrito por Wilson sin un colaborador fue, *The Insect Societies*, una obra con más de 500 páginas, a dos columnas, con abundantes diagramas, cuadros, fotografías y referencias, escrita con prosa clara y elegante. Fue considerada por muchos críticos como su mejor obra y en su último capítulo dice:

"A medida que han avanzado mis estudios, he sido impresionado de manera progresiva con las similitudes funcionales entre las sociedades de insectos y las sociedades de los vertebrados, y he dado menos importancia a sus diferencias estructurales que a primera vista parecen crear grietas abismales de separación."

Sin embargo, no imaginó que llegaría a incluir al hombre en el proceso de síntesis que había iniciado. Eso se hace evidente en las últimas frases de esa obra donde expresa lo siguiente: "puede esperarse que la sociobiología aumente nuestra comprensión de esa cualidad única de conducta social de los animales en oposición a la del hombre." Pero, al encontrarse eventualmente colocado entre sus sentimientos religiosos, cultivados desde la infancia y los conceptos derivados de sus estudios científicos, optó por una actitud conciliatoria. Atribuyó a la religión aspectos biológicos con raíces genéticas y con efectos favorables desde el punto de vista del Evolucionismo.

Así se trilló el camino para la publicación de "Sociobiology: The New Synthesis".

La reacción general ante esta obra, publicada en 1975, fue favorable y después de haber logrado un éxito inicial, no tardó mucho en obtener el soporte de la Harvard University Press.

El libro contiene tres partes principales:

- 1.- Evolución Social.
- 2.- Mecanismos Sociales y
- 3.- Las Especies Sociales.

Intencionalmente, Wilson incluyó en ella a los vertebrados de sangre fría, a las aves y a los antropoides, pero no al hombre.

Sin embargo, eso no pudo evitar que se produjeran una serie de incidentes muy desagradables.

En el capítulo 18 de esa obra propone "Cuatro Pináculos de la Evolución Social."

El primero es ocupado por las colonias de invertebrados, como los corales, y les da a estas sociedades el calificativo de "casi perfectas." La subordinación del individuo a la sociedad y la cohesión de ésta, son de tan alto nivel que la sociedad, en conjunto, puede considerarse equivalente a un solo organismo. Además, desde el punto de vista genético, todos los individuos son idénticos.

En el segundo pináculo, encontramos las sociedades de los himenópteros, que ya no son tan perfectas. Aunque existe altruismo, hay diferencias de castas y de funciones a realizar. Por otra parte, aparecen complejos mecanismos de comunicación entre sus miembros. En este caso, los insectos tienen identidad, el individuo es, por lo menos, relativamente independiente de la colonia, aunque no puede mantener su vida por tiempo prolongado si es separado de la comunidad. Surgen, además, conflictos de intereses y luchas entre los miembros: las avispas hembras se disputan el derecho de poner sus propios huevos; en algunas especies la reina ataca a sus mismas hijas si pretenden ejercer ese derecho y, cuando muere una reina, se desata una lucha para obtener la posición privilegiada.

En el tercer pináculo, se incluyen los vertebrados, con excepción del hombre. En esta etapa de evolución social las manifestaciones del egoísmo se hacen más notorias, mientras el altruismo se reduce a la protección de la descendencia. Frecuentemente, el enfermo, el lesionado y el debilitado, se ven abandonados a su suerte sin que los demás miembros muestren ninguna preocupación por ellos. La muerte de un macho dominante implica, no sólo la aparición de un sustituto, pues se añade, generalmente, el asesinato del

hijo más joven del líder desaparecido, con lo cual se suprime la lactancia y se acelera el estro en la hembra. Si el proceso continuara por ese mismo camino, la mayor diferenciación genética y la individualización propia del ser humano deberían conducir a una negación absoluta del altruismo.

Pero, por suerte, no ocurre así. El egoísmo no desaparece, pero resulta de algún modo paliado por la especialísima percepción temporoespacial del hombre.

Tanto los hechos del pasado como las proyecciones al futuro, las enseñanzas de la historia y la previsión de obtener ventajas en lo porvenir, derivadas de las buenas acciones en el presente, crean la noción, de que el buen proceder acarrea conveniencias futuras.

Con el desarrollo asimétrico de los hemisferios cerebrales, el hombre se ubica en un plano que lo separa de todas las demás especies.

Con la inteligencia, la conciencia y el sentimiento, surge una nueva y diferente jerarquización de valores.

Como complemento, se hace necesario mencionar, en estos momentos, los aspectos "*etológicos*" y "*epigenéticos*." La etología estudia los patrones de conducta que poseen carácter genético en algunas especies determinadas; mientras lo epigenético representa algo que se aprende por encima de lo heredado. Un buen ejemplo nos lo ofrecen las diversas modalidades del canto de las aves que los polluelos sólo aprenden imitando a los adultos.

La transmisión de atributos no genéticos de un individuo a otro, a niveles más elevados, determina la aparición de la cultura y, con

ella, se desarrolla un nuevo sentido social en el cual las actuaciones si no son verdaderamente altruistas, por lo menos, recuerdan al altruismo en muchos de sus aspectos.

Lo subrayado expresa mi criterio personal y pienso que, si la respuesta a las críticas hechas en contra de la Sociobiología se hubiera orientado de ese modo las reacciones provocadas habrían sido menos beigerantes. Los primeros comentarios de Conrad Waddington en el "New York Review of Books", fueron favorables a la Sociobiología, pero en 1978, un grupo políticamente ubicado en la extrema izquierda de la política norteamericana protestó porque, según ellos, la obra sustentaba el determinismo genético que proponían los nazis. Para colmo, dos profesores de su misma Universidad, según Wilson, le ocultaron sus verdaderos sentimientos y después de fingir una actitud amistosa hicieron una publicación venenosa en contra suya. Wilson se sintió íntimamente defraudado. En ocasiones llegó a ser perseguido por grupos de manifestantes que pedían su salida de la Universidad e interrumpían violentamente sus clases.

En 1978, Wilson respondió, hábilmente, con la publicación de otro libro más pequeño escrito en términos más asequibles. Ese fue el intitulado, *Human Nature*, al que ya nos referimos. La obra fue muy bien recibida y apaciguó la hostilidad ambiental que se había creado. Pero, cuando Waddington señaló que en un trabajo tan extenso como *Sociobiology*, dedicado a la conducta social, no se mencionaba "la mente" ni una sola vez, y se hacía muy escasa referencia al aspecto cultural, Wilson replicó, desafortunadamente, con la publicación de otro libro intitulado, *Genes, Mente y Cultura*, en el cual

introdujo conceptos tan controversiales que fue atacado, violentamente, por diversos frentes.

En 1990, Wilson publicó otra obra monumental, *The Ants*, en colaboración con Bert Hölldobler. La bella presentación y su extensión al tratar un tema tan especializado, son admirables.

Hoy, en 1994, Wilson se dedica a lo que ha llamado "Biodiversidad". Su obra " *The Diversity of Life*" ha sido elogiada aun por personas que anteriormente fueron sus opositores y las ideas expuestas en *Sociobiology*, están recibiendo, nuevamente, críticas favorables.

Para concluir este capítulo se debe reconocer que hasta hoy son frecuentes los choques de facciones en franca oposición y, a veces, con actitudes no científicas. Pero, a final de cuentas, la rebelión y la beligerancia son convenientes en la búsqueda de la verdad.

Las discusiones pueden abrir nuevos caminos aunque no siempre ofrezcan soluciones.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

---

Bronowski, Jacob. Science and Human Values.  
Perennial Library. 1965.

Bronowski, Jacob. The Ascent of Man.  
Little Brown. 1973.

Encyclopedia Britannica.  
XV Edition. 1992.

Mayr, Ernst. Toward a New Philosophy of Biology..  
Harvard University Press. 1988.

Scientific American. Profile: Edward O. Wilson.  
Revisiting Old Battlefields. April 1994.

Spinoza, Baruch. The Ethics of Spinoza.  
Citadel. 1976.

Wright, Robert. Three Scientists and Their Gods.  
Harper and Row. 1988.



## CIENCIA Y DESARROLLO

### ¿POR QUE HAY O NO HAY DESARROLLO?

Cuando se discuten los graves problemas nacionales, se suele atribuir la génesis de nuestros males al capitalismo, al imperia-  
lismo, al militarismo, al proteccionismo y a muchos ismos más.

Y, aunque parezca mentira, al querer buscar soluciones, hasta se oyen voces desesperadas que claman por una nueva dictadura.

Además de la supuesta influencia de las mencionadas concep-  
ciones políticas y socioeconómicas, se ha señalado la importancia  
geográfica del cinturón para-ecuatorial que parece repeler la evolu-  
ción hacia el progreso, característica de los países ubicados en las  
zonas templadas.

Las diferencias entre el hemisferio septentrional y los países  
del cono sur, tampoco pueden pasar desapercibidas.

Por otra parte, una breve revisión histórica, nos muestra algu-  
nos aspectos no menos interesantes.

Varios países industrializados han soportado regímenes políti-  
cos atroces, las orientaciones socioeconómicas más discutibles, gue-  
rras devastadoras, derrotas catastróficas con pérdida de su integri-  
dad territorial y han podido resurgir de las cenizas, como el ave Fé-  
nix, para ocupar sus posiciones como abanderados del progreso.

Por tanto, se hace ineludible preguntarnos, entre otras cosas,  
lo siguiente: ¿Cuál es el común denominador capaz de influir, tan be-  
neficiosamente, en la evolución de esos países con ideologías políti-

cas tan variadas y orientaciones socioeconómicas tan disímiles? Y resulta obvio que, independientemente, de las condiciones geográficas y climatológicas mencionadas anteriormente, hay que considerar, la sólida tradición de sus instituciones académicas, el rigor de sus austeras disciplinas para la enseñanza científica, sus grandes aportaciones en los terrenos de la investigación y la extensión del conocimiento científico al ciudadano común, con capacidad para introducir aplicaciones prácticas del conocimiento que transforman su manera de vivir.

Todo parece indicar que, sólo, cuando el pueblo se hace partícipe de los logros alcanzados, se adquieren las bases de sustentación, necesarias, para que el progreso y el desarrollo se instalen y se consoliden.

El conocimiento que pueda poseer una cúpula elitista no basta para redimir a un pueblo ignorante.

Abundan en la Historia, ejemplos de innegable valor demostrativo que soportan esta afirmación. Grecia, fue la cuna de nuestra civilización occidental, sus grandes pensadores aprovecharon las enseñanzas de los babilonios y de los egipcios e introdujeron interesantes conceptos en aritmética, geometría, astronomía, biología, medicina y otras ramas del conocimiento.

La filosofía griega, en sus diferentes facetas, iluminó la senda que debíamos recorrer. Las humanidades se beneficiaron del análisis de las diferentes formas de gobiernos y nos dejaron sus impecederas manifestaciones artísticas.

Esa Grecia continental, que encarna una egregia representación del intelecto, declinó con la caída del imperio macedónico.

Debo señalar, sin embargo, que además de la prematura muerte de Alejandro Magno, encontramos otras razones poderosas que probablemente contribuyeron a esa declinación y que muestran ciertas similitudes con las situaciones que afrontan, en la actualidad, los países carentes del deseado desarrollo.

Ante todo, es necesario mencionar el carácter elitista de los grupos pensantes.

La escuela de Pitágoras, por ejemplo, aunque influyó en el orden políticsocial, mantuvo sus enseñanzas envueltas en un aura esotérica y alcanzó proyecciones místicas, pero desconoció las aplicaciones prácticas del conocimiento.

Hay que señalar, enfáticamente, la intransigencia del pensador griego, al no aceptar otro medio para llegar a la verdad que no fuera el intelecto puro.

Esa élite pensante, consideraba que el uso de cualquier instrumento para contribuir a la solución de un problema, constituía una violación inaceptable de principios y consecuentemente, menospreciaba su utilidad práctica.

Por otra parte, su aritmética fue deficiente en aspectos de gran importancia: 1.-Desconocían el uso del cero, que fue introducido por un hindú cuyo nombre no registró la Historia. 2.- Al buscar soluciones, asociaron los números a los signos alfabéticos, con lo cual, sus expresiones matemáticas sufrieron severas limitaciones.

La asociación de los números con las letras no fue usada por los griegos de manera exclusiva. Los romanos la aplicaron en sus expresiones aritméticas con los mismos efectos negativos. Mientras en la numerología, denominada "*gematria*", que fue ampliamente elaborada por los hebreos, adquiere connotación mística.

En la época de la Reforma, Peter Bungus, un teólogo católico, escribió un libro de 700 páginas para demostrar que "el número de la Bestia" (666) representa un criptograma del nombre de Martín Lutero. Mientras Stifel, un matemático luterano que fue el primero en introducir los signos de (+), (-) y de la raíz cuadrada ( $\sqrt{\quad}$ ) en un libro de álgebra, hizo coincidir el nombre del Papa León X con el número 666, al escribirlo con todas sus letras: Leo Decimvs.

En geometría, a pesar de las múltiples implicaciones del "teorema de Pitágoras" tampoco los griegos aprovecharon su utilidad.

Sus conocimientos de álgebra fueron limitados y, en el aspecto filosófico, la falta de comprobación experimental de las ideas contribuyó a que el sofisma desplazara a la dialéctica y el amor a la verdad se viera opacado por la elocuencia unida a la artimaña forense. Eso ha facilitado, hasta hoy, que lo falso se imponga a lo verdadero y aún se ven, en los tribunales de justicia, ejemplos lamentables de esta afirmación.

Platón y Aristóteles no fueron sofistas, pero sus enseñanzas tampoco requerían comprobación experimental. La influencia avasalladora del segundo, dominó el pensamiento occidental durante milenios y contribuyó al estancamiento del período medieval.

A la muerte de Alejandro sus generales se repartieron el imperio y, en Egipto, se instaló la dinastía de los Ptolomeo iniciada por el más brillante de ellos. Bajo su mandato, la ciudad de Alejandría, construída como lo había soñado el gran conquistador, fue el centro del mundo conocido, tanto en lo político y en lo comercial, como en el aspecto intelectual. La adquisición, conservación y divulgación del conocimiento, jamás habían alcanzado niveles semejantes y se introdujeron características muy diferentes de las que vimos en la Grecia continental y de lo ocurrido en las grandes civilizaciones orientales. La China, por ejemplo, adquirió un apreciable caudal de conocimientos, pero permaneció enquistada dentro de sí misma, al cerrar con arrogancia los medios de comunicación, que hubieran permitido intercambios con otros pueblos de diferentes idiosincrasias y con capacidad de hacer contribuciones útiles. Entre los chinos hubo grandes pensadores con evidente profundidad filosófica, no faltaron inventores con gran creatividad y tuvieron excelentes artistas, pero las influencias negativas del aislamiento agravadas por los múltiples idiomas usados en su extenso territorio, han mantenido a esa gran nación, fragmentada, dentro de su ya mencionado encierro, y sólo el terror secular de diferentes formas de totalitarismo, la han mantenido políticamente unificada. Sus sistemas de escritura representan, todavía, un problema de difícil solución para las artes gráficas modernas.

En Alejandría, en cambio, lo aprendido era compartido, discutido y divulgado entre griegos, fenicios, árabes, romanos, judíos y todo el que deseara participar del gran botín intelectual.

Cuando el conocimiento llega al hombre común, surgen las aplicaciones prácticas en la agrimensura, en la navegación, en las invenciones productivas y en múltiples actividades diarias.

Su legendaria biblioteca contenía cuanto se consideraba de valor intelectual; y los Ptolomeo pagaban en oro la adquisición del conocimiento. El incendio que destruyó ese centro de la sabiduría, provocado por turbas fanáticas, constituye uno de los episodios más penosos en la historia de la humanidad.

En el triste ocaso de Alejandría, fue inmolada Hypatia, hija de Theon, el último de los grandes matemáticos de la época. Esta bella mujer, profesora de matemáticas, encarnaba la más alta representación del platonismo, había editado las obras de Diofanto y era capaz de participar en discusiones científicas con los hombres más brillantes de su época. Acusada de herejía y repudiada por el obispo Cirilo, fue descuartizada viva. Cirilo fue posteriormente canonizado.

Este episodio me obliga a abrir un paréntesis. Aunque todavía existen fanáticos empeñados en colocar a la religión y a la ciencia en posiciones antagónicas y creen que el científico ha de ser ateo, muchos destacados hombres de ciencia expresan que mientras más avanzan nuestros conocimientos más evidente se hace la necesidad de Dios. Es oportuno añadir que Dios no puede ser objeto de discusión científica, porque ningún mecanismo intelectual imaginable permite comprobar ni negar su existencia. Dios, no se alcanza con el raciocinio; sólo se percibe cuando se tiene fe.

Es útil mencionar la contestación que diera Einstein al rabino Rubenstein, cuando éste le inquirió, mediante un telegrama con res-

puesta pagada, si después del triunfo de la teoría de la relatividad él creía en Dios. He aquí las palabras del genio: "Creo en el Dios de Spinoza, un Dios capaz de crear las maravillas del universo, pero que no se ocupa de los problemas diarios de los hombres."

Asimismo, recomiendo leer la difundida y laboriosa obra de F. Tipler y John D. Barrow, "Anthropic Cosmological Principle", que busca establecer una conexión entre las constantes físicas universales y la organización de la vida. Cuando se concluye que el universo es como es, para que el hombre pueda habitarlo como observador consciente, el concepto científico adquiere una innegable connotación mística.

Cierro el paréntesis para señalar que después de la brillante época alejandrina se produce la expansión del mundo islámico. El Islam, cuya traducción significa "Sumisión y entrega a Dios", fue impuesto por la prédica y la espada de Mahoma, quien obligaba a sus fieles a buscar el conocimiento estuviera donde estuviera y costara lo que costara. Los avances científicos alcanzados por los árabes en matemáticas, astronomía, medicina, arquitectura y otras ramas del saber, contribuyeron al esplendor de los grandes califatos.

En Europa, durante el Renacimiento, encontramos figuras cimeras ubicadas en diferentes países y empeñadas en el intercambio de sus valiosos conocimientos en astronomía, que fue la primera de las ciencias en hacer grandes progresos. Vemos, así, a Copérnico en Polonia, Tycho Brahe en Dinamarca, Galileo en el norte de Italia y Kepler en Bavaria.

La aparición de la imprenta, a fines del siglo XV, facilitó, sin duda, la comunicación entre los hombres dedicados a esas tareas. Pero hay que señalar, con insistencia, la importancia del deseo de intercambiar ideas manifestado por los científicos y los aficionados a las ciencias. Ese interés contribuyó a unir a la nobleza con el intelecto, como fue el caso de la llamada Academia del Linceo, a la que perteneció el propio Galileo.

En el siglo XVII el interés por la ciencia se extiende más allá de la astronomía y se expanden los mencionados mecanismos de comunicación entre los científicos que, con esa finalidad, organizan diversas sociedades.

En 1660, se fundó la "Royal Society of London for Improving Natural Knowledge", que, eventualmente, sería reconocida en todo el mundo como la "Royal Society". Otras similares, aunque no tan renombradas, surgieron en otros lugares.

Una de las agrupaciones más interesantes fue la llamada "Lunar Society" (Sociedad Lunar), de Birmingham, cuya fecha exacta de fundación se desconoce aunque se calcula anterior al año 1770. Sus reuniones regulares tuvieron mayor auge desde el 1775 y aunque tampoco se sabe la fecha de su desaparición es probable que se mantuviera hasta el año 1791. Era una sociedad informal, sin registro de membresía, integrada en su mayoría por un grupo heterogéneo de amigos que se reunían atraídos por el interés común en el quehacer científico. Su ambiente no era propicio para saborear las discusiones abstractas, y muchas veces vacías, que sostenían algunos integrantes de la Royal Society.



Sus actividades se extendieron hasta el Nuevo Mundo por medio de las estimulantes relaciones sostenidas con Benjamín Franklin.

Uno de sus miembros más destacado fue Matthew Boulton, compañero de James Watt en la fabricación de las máquinas de vapor. Otro de sus pilares fue John Roebuck quien, a pesar de haberse ausentado de Birmingham antes de que existiera la sociedad, siempre se consideró parte de ella.

Roebuck le dio gran impulso en la Gran Bretaña a la química de los ácidos y alcalis, en sentido general, pero deben mencionarse de manera especial, las múltiples aplicaciones que introdujo para sacar provecho al ácido sulfúrico.

La gran variedad de intereses, actividades y capacidades de los miembros de este grupo, incluye a personas como Josiah Wedgwood, que se especializó en fabricar cerámica muy parecida a la que hacían los etruscos. Su labor al igual que la de sus compañeros, se caracterizaba por la enorme tendencia a la organización, la búsqueda de la excelencia en el trabajo realizado y el deseo de conocer el aspecto científico de lo que se hacía. No es posible omitir en este grupo al Dr. William Withering, médico descubridor de los efectos terapéuticos que posee la digital, ni a Joseph Priestley, que fue uno de los últimos científicos en ingresar a la Lunar Society.

De esa amalgama de inquietudes surgió la aplicación del conocimiento científico en la solución de los problemas diarios y se contribuyó, así, a vincular la ciencia con la tecnología para la obtención del desarrollo milagroso que caracteriza a la civilización occidental.

Con la intervención de Descartes y Newton las matemáticas adquirieron verdadera preponderancia como ciencia.

Para ser más breves, demos un salto al presente y revisemos algunos hechos que contribuyen a explicar nuestra lamentable falta de desarrollo.

Además del predominio científico y tecnológico que, indiscutiblemente, ostentan los EE UU., las ventas de libros dedicados a la divulgación científica en esa nación, superan a las que registran todos los países europeos juntos, acerca de temas similares. Eso constituye una amplia base de sustentación, para ampliar el aspecto tecnocrático de su cultura. Sin embargo, el hecho de que en competencias internacionales algunos estudiantes superdotados procedentes de otras naciones, superaran a los estudiantes norteamericanos en matemáticas, provocó gran inquietud en las esferas oficiales. En la actualidad ha surgido un movimiento encabezado por la poderosa industria electrónica, "Motorola". Esta entidad ha creado en su propia Universidad, nuevos programas de estudio destinados a transformar la enseñanza con miras a las necesidades del siglo XXI.

Al abordar este tema, se hace penoso afrontar nuestra dolorosa realidad no sólo en lo que atañe a países como el nuestro, sino al idioma en sentido general.

El porcentaje de libros dedicados a la divulgación científica, en comparación con las obras escritas acerca de otros temas culturales, constituye un justificado motivo de pesadumbre. Nuestra bibliografía puede considerarse prácticamente huérfana de este tipo de publicaciones.

Y sin embargo, bastaría esa lectura de divulgación para apreciar el papel preponderante de la física en el progreso alcanzado por la humanidad en el presente siglo.

Ha sido el uso selectivo del electrón lo que ha permitido introducir los electrodomésticos sofisticados que rigen a nuestra sociedad de consumo: la radio, la televisión, la informática, los audiovisuales y tantísimas cosas más sin contar el control relativo de las fuerzas nucleares, que arrastran, todavía, limitaciones y condiciones objetables. Asimismo, es necesario entender que la tecnología es hija agradecida de la ciencia y que existe entre ambas un poderoso mecanismo de retroalimentación mediante el cual cada una favorece a la otra.

Esto acelera la adquisición del conocimiento y amplía, vertiginosamente, la brecha que nos separa de las grandes potencias.

Se ha dicho, también, que el progreso científico y tecnológico requiere la erogación de recursos económicos que sólo poseen las naciones ricas y con ese criterio se pretende colocar el destino de las naciones pobres en un callejón sin salida.

Pero eso es una falacia.

Las grandes naciones no lograron su desarrollo porque eran ricas, sino que, contrariamente, son ricas porque lograron multiplicar su capacidad para crear riquezas.

Naciones como España y Portugal, por ejemplo, fueron en un momento dado, imperios poderosos y, sin embargo, no por ello lograron el desarrollo alcanzado, tempranamente, por otras naciones europeas.

Las condiciones deplorables que padeció la Gran Bretaña en los días cercanos a su Revolución Industrial ofrecen una realidad histórica que constituye un ejemplo muy instructivo. En esa época los padres trabajaban como capataces de sus propios hijos, que desnutridos y enfermos hacían labores de esclavos en factorías y hasta en minas de carbón para obtener un pedazo de pan.

Pero son también ejemplos de realidad histórica, los diferentes episodios protagonizados en ese país, por Newton, Priestley, Cavendish, y otros no menos importantes. J.J. Thomson, descubrió el electrón en 1897, y ante todo, resulta impresionante, comparar el aspecto de simple artesanía que tienen sus utensilios de laboratorio, astronómicamente distantes, de los que hallamos en las grandes instalaciones modernas.

A este lado del Atlántico, cuando visitamos el museo de Edison, en la Florida, nos asombra el equipo preelectrónico, de donde surgieron tantos inventos que transformaron para siempre la vida del hombre. Asimismo, el primer acelerador de partículas, el Ciclotrón de Lawrence, podía medirse en pulgadas y fue hecho casi con las manos. Hoy, los aceleradores de partículas instalados en el CERN (Consejo Europeo para la Investigación Nuclear), ubicado en la frontera franco-suiza, cerca de Ginebra, poseen túneles subterráneos de dimensiones kilométricas, en los cuales se demostró, experimentalmente, la llamada interacción electro-débil que ha unificado el electromagnetismo con la interacción nuclear débil.

En esa ocasión, se lograron colisiones entre partículas de materia y sus correspondientes formas de antimateria para obtener ni-

veles energéticos similares a los que existieron poco después del Big Bang. Algo similar puede decirse acerca del Fermilab, de Chicago, y del Acelerador Lineal de la Universidad de Stanford, en California. Pero todo comenzó, con el pequeño Ciclotrón de Ernest Orlando Lawrence, en el 1930.

Hasta hace poco, varios Estados se disputaban en el Congreso de los EE.UU. la ubicación de otro acelerador de partículas mayor y más avanzado que todos los demás, porque su instalación representaría una importante fuente de riquezas para la región que resultara escogida. Las enormes inversiones que requeriría la construcción; las muchas posiciones bien remuneradas para técnicos, obreros y empleados en general; los beneficios turísticos y las grandes contribuciones al mundo de la ciencia justificaban la pugna. Se le otorgó el privilegio al estado de Texas, pero en junio del 1993, el Congreso congeló la erogación de las sumas solicitadas para el proyecto. Se alegó que el déficit presupuestario obligaba a reducir los gastos del gobierno y, además, nuevas corrientes del pensamiento científico prefirieron invertir los grandes recursos económicos, en investigaciones ajenas al terreno de la física de partículas. Los esfuerzos realizados por Leon Lederman, Steven Weinberg y otras personalidades, no pudieron impedir que la construcción fuera aplazada indefinidamente.

Por otra parte, entre las más elevadas creaciones del intelecto, que registra la historia de la humanidad, se pueden mencionar: La inmortal obra de Copérnico, "Acerca de las Revoluciones de las Esferas Celestes", cuyo título es responsable de la extendida connota-

ción política de la palabra "revolución." La Mecánica de Newton. El Evolucionismo de Darwin y Wallace. La Teoría de la Relatividad de Einstein y La Teoría Electrodinámica Cuántica. Ninguna requirió inversión exorbitante de dinero. Figuras como W. Heisenberg, P. Dirac, Pauli y otros, contribuyeron a imponer la mecánica cuántica mientras estudiaban a la sombra de Niels Bohr, con becas otorgadas por la cervecería Carlsberg, de Dinamarca, cuyo valor aproximado era de unos U.S. \$200.00 mensuales. Como argumento final, puede añadirse, que Pasteur realizó su obra monumental, sin credenciales, sin equipo ni dinero; rodeado de un ambiente hostil y una oposición recalcitrante.

Por tanto, el aspecto económico no debe amilanarnos. Aunque somos pobres, existen en nuestro país suficientes reservas financieras para modificar de manera apreciable nuestra deplorable situación. Bastaría con canalizar más racionalmente los recursos del Estado y las contribuciones de muchas entidades privadas, en vez de las absurdas inversiones que nos caracterizan. El dinero debe ser usado, en más instituciones educacionales científicas y tecnológicas, en laboratorios y equipos de investigación y menos en obras faraónicas y en promociones faranduleras.

Hay que crear conciencia de los enormes beneficios que podrían obtenerse si todos contribuyéramos a elevar el nivel científico de nuestras instituciones.

No se puede perder de vista que es innecesario recorrer los caminos que ya han trillado los países desarrollados. No hay que volver a inventar la brújula ni el ciclotrón. Lo que necesitamos es di-

fundir en nuestro ambiente los conocimientos necesarios para aprovechar la nueva tecnología que nos ofrece el mercado y saber evaluar lo que es conveniente importar para acelerar nuestro propio desarrollo. Adquirir la capacidad para modificar y adaptar esas importaciones de acuerdo con nuestras necesidades y posibilidades, es una condición *sine qua non* y puede obtenerse mediante un programa cabalmente elaborado

Debemos escoger jóvenes brillantes que tengan seriedad de propósitos y enviarlos a los países avanzados, en cuyas instituciones puedan adquirir la preparación necesaria para iniciar nuestro desarrollo tecnológico. Pero, desde luego, es imprescindible garantizarles a su regreso, posiciones decorosas y bien remuneradas para que la tentación de permanecer en el extranjero no los aparte de su destino. Al mismo tiempo, debemos importar maestros y equipos de laboratorio en beneficio de los que no tengan la oportunidad de viajar. De ese modo, los países que han hecho grandes conquistas, al ponerlas en nuestras manos, habrán trabajado para nosotros. Y de manera progresiva, nuestra juventud, dejaría de ser mano de obra barata en los talleres de las zonas francas y se convertiría en una fuerza capacitada para transformar nuestro perfil socioeconómico.

Es importante saber que Japón dio sus primeros pasos hacia el desarrollo a fines de la década del 1860.

Inicialmente, importó tecnología norteamericana orientada hacia la producción agrícola. Pero dadas las características desiguales de sus recursos, tuvo que introducir las modificaciones necesarias para suplir la falta de tierras con su innegable capacidad laboral.

Buscó entonces, tecnología europea más adecuada y conveniente para ser aplicada a sus condiciones geográficas.

En el aspecto industrial hicieron lo propio e importaron, por lo general, máquinas usadas, cuyo mantenimiento, obligó al milagro realizado por manos hábiles y disciplinadas en largos turnos de trabajo ininterrumpido. Basta mencionar como ejemplo demostrativo que, en la construcción de un ferrocarril, emplearon una cantidad de obreros más de dos veces y media superior a la que se habría usado en los EE UU.

Hoy, no sólo la industria japonesa es competitiva frente a las más sofisticadas, sino que el crecimiento económico de otros países orientales, como Corea, China y Taiwan, supera el obtenido por las grandes potencias occidentales.

La historia del desarrollo norteamericano es diferente. Cuando ellos iniciaron la importación de tecnología inglesa cambiaron radicalmente la orientación de los europeos, pues sus riquezas naturales, aparentemente inagotables, les permitían obtener grandes provechos sin utilizar tanta mano de obra. Para los ingleses, aquello parecía un grave desperdicio de recursos, pero los americanos lograron hacer sus características producciones masivas, perfeccionadas rápidamente, mediante eficientes controles de calidad, y el sello "made in USA" invadió los mercados mundiales.

En agricultura, para dar otro ejemplo, la introducción de la genética les ha permitido no sólo producir mayor cantidad de trigo, sino obtener una concentración de proteínas muy superior a las que alcanzan las especies cultivadas en otros lugares.



Las constantes innovaciones tecnológicas en sus laboratorios de investigación, los nuevos sistemas de comercialización, la elasticidad entre la independencia y la protección por parte del Estado, manejadas sin los graves problemas de la centralización estatal de los países totalitarios, fueron factores importantes para que obtuvieran su privilegiada posición. Sin embargo, su sistema económico afronta hoy graves problemas. El poder de las grandes corporaciones en la vida política y en la distribución de ingresos en la sociedad, ha dado al traste con la capacidad competitiva de sus industrias. La relación entre los beneficios que disfrutaban los miembros ejecutivos de las grandes corporaciones americanas y los que obtienen sus obreros es cerca de doscientas veces superior a la que reportan las cifras correspondientes en las empresas japonesas. En cambio, los directivos japoneses, trabajan mucho más que los americanos.

Para nosotros, urge la implantación de un programa racional que se ajuste a nuestras necesidades y posibilidades. Pero ¿cómo puede implantarse un modelo de desarrollo en un ambiente donde se desconocen y se menosprecian los factores determinantes del progreso? Ese es el verdadero origen de nuestra desgracia. Es necesario crear, un sistema educacional no sólo extensivo a la mayor parte de nuestra población, sino que transforme todos los niveles, desde el estudio elemental hasta la cima académica.

Hay que preparar el terreno donde deben fructificar nuestros esfuerzos, porque no podemos esperar que una planta florezca en medio del desierto.

Vivimos en un ambiente donde la palabra ciencia es ajena, temida y menospreciada. Donde la física y las matemáticas se consideran materias áridas y económicamente no productivas. Donde el 99% de las personas cultas y que alcanzan los más altos estratos académicos pertenecen a otras disciplinas y rechazan todo contacto con aquellas.

Algunos empresarios creen ser sabios porque han tenido la habilidad de hacer dinero. Y no saben que harían mucho más dinero si contribuyeran a que el país tuviera verdaderos sabios.

A su vez, muchos políticos evaden el tema de la ciencia, porque, además de ignorar su significado, piensan que los científicos representan un número reducido de votos y que no son receptivos a sus planteamientos demagógicos.

Al decir esto no quiero desconocer, en modo alguno, el importante papel que pueden jugar las ciencias políticas y socioeconómicas en la solución de nuestros problemas. Pero es indispensable hacer algunas advertencias.

Hasta hace poco, la economía, la sociología y otras ramas de las humanidades, al igual que la biología, no eran reconocidas como verdaderas ciencias; para muchos, esa calificación privilegiada era privativa de la física, amparada en las matemáticas.

Es bien sabido que Newton fue un ejemplo sobresaliente del científico totalmente divorciado de las humanidades y Ernest Rutherford, descubridor del núcleo atómico, comparaba la biología con la entretención de coleccionar sellos de correo.

El Evolucionismo de Darwin, era calificado por filósofos recalci-  
trantes, como una proposición metafísica. Hoy, muchos lo conside-  
ran una verdad demostrada y no una teoría por comprobar. Esas ac-  
titudes se debían a que, en las ciencias físicas, el valor de una teo-  
ría depende de la verificación experimental de sus postulados y del  
cumplimiento de sus predicciones, sometidas a ecuaciones matemá-  
ticas restringidas.

Las disciplinas mencionadas carecen, por su propia naturale-  
za, de las condiciones necesarias para predecir sus acontecimien-  
tos. En ellas predominan las situaciones complejas y caóticas gober-  
nadas por ecuaciones no lineales y, por tanto, no es posible hacer  
predicciones. Abundan en ellas, además, situaciones conflictivas don-  
de al afrontar ideas contradictorias se carece de medios para deter-  
minar donde se halla la verdad.

Gino Segré, Chairman del Departamento de Física de la Universi-  
dad de Pennsylvania, a quien agradezco haberme honrado, inmereci-  
damente, al comentar mi libro "Quests," me refirió, en una conver-  
sación amistosa, que su padre lo indujo a estudiar física "porque en  
esa actividad académica cuando se tiene la razón, generalmente, es  
posible demostrarlo".

Su padre era profesor de Historia en una universidad europea y  
conocía el amargo sabor de las discusiones estériles.

Es conveniente señalar, sin embargo, que, desde hace unas déca-  
das, algunos físicos de brillantez extraordinaria, como Erwin Schrö-  
dinger, Linus Pauling, Delbrück y otros, se dedicaron con entusias-  
mo a los estudios biológicos y contribuyeron al progreso de la biolo-

gía molecular que ha acercado la física a la biología. La confección del modelo tridimensional de la fórmula del ADN, por Crick y Watson, el esclarecimiento de la estructura molecular del gene y la dilucidación del código genético, colocaron definitivamente a la biología en el grupo de las ciencias verdaderas.

De igual modo, los recientes progresos obtenidos en el estudio de las complejidades y las situaciones caóticas, con el auxilio de la computadora y con la introducción de ecuaciones no lineales, han ampliado considerablemente los horizontes de esas disciplinas anteriormente menospreciadas.

Pero es un hecho que, aun admitiendo su carácter científico, no habrá solución socioeconómica ni política para nuestros problemas si no transformamos los mecanismos para lograr un desarrollo cuyo fundamento radique en la ciencia y la tecnología.

Por bienintencionadas que sean las promesas políticas y por muy atinados que sean los planteamientos de reorientación socioeconómica, no fructificarán de manera definitiva si no se incluyen los programas necesarios para el avance de las ciencias.

No dejarán de ser prescripciones de valor sintomático, incapaces de desarraigar las causas de tan profundos males. Sin embargo, hay casos, en que la medicación puede ser salvadora sin ser dirigida a la causa de la enfermedad. Antes de la introducción de los modernos métodos diagnósticos, por ejemplo, una hemorragia interna, severa, obligaba a combatir la pérdida de sangre sin perder tiempo en la localización de la lesión causal. Porque, independientemente de la causa, la hemorragia podía matar al enfermo.

Asimismo, las consecuencias de graves errores políticos y socioeconómicos deben corregirse sin esperar la obtención del anhelado progreso científico y tecnológico.

Pero hay que advertir a los que pretenden dirigir los destinos de la patria, que es imperiosa la necesidad de transformar los sistemas de educación y darle al estudio de las ciencias un sitial privilegiado.

Los dirigentes políticos deben imponerse la tarea, a sabiendas, de que no les dejará beneficios en la promoción de sus interminables campañas electorales. Sus frutos, aunque valiosos, sólo pueden cosecharse a largo plazo.

Nuestro proceso evolutivo en la educación pública y privada, en las últimas décadas, ha sido patético. En los funestos años de la tiranía, la escuela, la prensa y todos los medios de comunicación sólo se usaban para difundir, abominablemente, las obligadas alabanzas al déspota.

Al recobrar nuestras libertades públicas, las deplorables condiciones de vida que padecía el profesorado en toda la extensión del territorio nacional convertían las labores del magisterio en un suplicio.

Para ser maestro se necesitaban las más altas dosis de abnegación y espíritu de sacrificio. Fue el momento oportuno para que una juventud que soñaba con resolver los problemas del mundo, engañada por las prédicas de una doctrina errada, se sumara a la sufrida clase educadora y tomara los planteles para convertirlos en centros de indoctrinación política.

Querían forjar conciencias revolucionarias desde la misma alfabetización, pero olvidaron, o no supieron nunca, el valor inestimable de la ciencia. Hoy por hoy, el campesino de cultura más llana, procedente de las zonas rurales más remotas del país, repite con términos altisonantes el estereotipado discurso de esas ideologías ya fracasadas. Todavía, parte de ese pueblo politizado, espera hallar su salvación en las promesas de sus líderes de turno. Pero, ya, son muchos los desengañados que, hastiados de las vanas promesas, han dado la espalda a la politiquería y en su desesperación, al buscar otra solución a sus problemas, se han convertido en presa fácil del vicio organizado.

Como dato curioso debemos mencionar que el dominicano de escasos recursos y extracción rural, además de sus conocimientos políticos ha demostrado un extraordinario talento en otra actividad muy lucrativa: el juego de pelota. El deporte de las clases pobres porque no se requiere ningún equipo costoso para practicarlo. La pelota y los guantes pueden ser confeccionados por los adolescentes con hilos y telas viejas mientras los bates se obtienen de la rama de un árbol. La invasión de las grandes ligas de "base ball" por nuestro ejército de jugadores ha sido una manera efectiva de dar a conocer nuestro país. Eso demuestra que las manifestaciones del talento dependerán, en gran parte, de las actividades que pueda realizar el individuo.

Por consiguiente, estamos obligados a crear el ambiente propicio para que un día se manifieste el talento científico que puede estar latente, todavía, en un pueblo cuyo afán de superación es digno de mejor suerte.

Jamás nuestras escuelas han disfrutado de las facilidades de laboratorio donde el niño pueda familiarzarse, tempranamente, con los elementos rudimentarios de la observación y la experimentación. Aun en nuestra educación superior, la investigación científica es prácticamente simbólica.

Hay que forjar maestros que vibren de entusiasmo por las ciencias y que sepan transmitir sus emociones a los discípulos.

El maestro no puede ser un simple repetidor de conceptos.

Su mensaje no sólo debe llegar al intelecto, sino que debe alcanzar el alma.

Desde el mismo momento en que el niño inicia sus estudios hay que despertar en él la curiosidad y el interés por los misterios de la naturaleza. Debe aprender que el hombre es el único observador consciente de la Creación, a menos que un día se compruebe la existencia de vida inteligente extraterrestre.

Pero ese enorme privilegio sólo puede disfrutarlo el que adquiere suficiente conocimiento científico. Por tanto, debemos tomar el camino de nuestra superación intelectual.

De ese modo, mientras crece en nosotros el amor a la ciencia, que es amor a la verdad, se aprecia mejor lo que significa el ser humano. Así nos identificaríamos más fácilmente con nuestros semejantes y podrían disminuir las actitudes agresivas y la desconfianza recíproca que empañan nuestra convivencia.

¡Qué diferente sería nuestro país si el ciudadano común se acercara a esa imagen representativa de lo que es el hombre!

Y no es imposible conseguirlo.

El niño debe aprender a no ser como el cerdo que, incapaz de elevar su vista al firmamento, se conforma con mirar al suelo para buscar el sustento entre los desperdicios.

Enseñémosle a mirar al cielo.

¡Que esas miradas, fueron las primeras observaciones científicas del hombre!

Todos sabemos que el cielo es bello, pero es más bello, todavía, cuando al contemplarlo podemos visualizar las maravillas físicas y cosmológicas que encierra.

¡El conocimiento es el alimento del espíritu!

El niño debe imitar a las aves migratorias que cubren distancias sorprendentes en sus vuelos nocturnos y llegan a sus destinos guiadas por las estrellas.

Hagamos que nuestras próximas generaciones puedan volar muy alto y que no teman a la inconcebible noción de lo infinito.

Que disfruten la inefable sensación que nos invade al saber que la inmensidad del universo y la infinitesimal pequeñez del átomo son una misma cosa.



REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

Bronowski J. and Mazlish Bruce. The Western Intellectual Tradition.  
Harper and Row. 1975

Bronowski, J. Science and Human Values.  
Perennial Library. 1972

Iñiguez, P. Desde el Hombre de Neanderthal hasta El Renacimiento.  
Amigo del Hogar. 1990.

Perutz, Max. Is Science Necessary?  
Oxford University Press 1991

Rosenberg Nathan and Birdzell Jr. L.E.  
Science, Technology and the Western Miracle.  
Scientific American, Vol 263 Num. 11  
Nov. 1990

Sagan, Carl. Cosmos.  
Random House. 1980.

NOMBRE	TEMA	PAGINA
<b>A</b>		
Acanthamaeba castellani	Actina	201
Acanthomyops	Feromonas	327
Acido aspártico	Aminoácidos	83
Acido glutámico	Aminoácidos	83
Actina	Molécula proteínica	201
Adair, Gilbert	Ayudando a Perutz	215
Adair, Gilbert	Hemoglobina.	221
Adair, Gilbert	Hemoglobina	222
ADN	Crick y Watson	38,153,170 151,318,173 177,310,233
Akhundov, Murad	Percepción del futuro	43
Akhundov, Murad	Percepción del futuro	41,42
Alanina	Aminoácidos	81
Aleph Null	Infinito	8
Alpher, Ralph	El Big Bang	7
Altman, Sidney	Ribozimas	62,79
Altman, Stuart	Sociobiología	323
Alvin (sumergible)	Investigaciones oceanográficas	248
Amera	Concepción de Demócrito (quark)	141
Anderson, Carl	Premio Nobel	19
Anemia falciforme	Biología molecular	200
Anfinsen, Christian	Premio Nobel	86
Anhidrasa carbónica	Transporte de oxígeno y CO <sub>2</sub>	241
Arginina	Aminoácidos	82
ARN	Enzimas	79,153
Aristóteles	Teleología	143
Arrhenius, Svante	Panspermia	152
Arrow, Kenneth	Santa Fe Institution	167
Arthur, Brian	Retroalimentación en economía	170, 173
Asimow, Isaac	Vida extraterrestre	24
Asparigina	Aminoácidos	84
Aspect, A.	Prueba del teorema de Bell	114
Astbury, William	Cristalografía	214
Attractor	Complejidades	16, 157
Attractor, strange	Complejidades	16, 157, 158
Attractor, quasi periodic	Situaciones caóticas	158
Avogadro, Amadeo	Ley de Avogadro	279
Axelrod, Robert	En colaboración con Holland	171
Axelrod, Robert	Teoría simbiótica. Célula eucariótica	197
Axion	Materia oscura	56

## B

Barrow, John D.	Anthropic Cosmolog. Principle	34, 345
Bergson, Henri	Percepción temporo-espacial	44
Bernal, Desmond	Cristalografía	214
Bernal, Desmond	Biología molecular	216, 227
Bernal, Desmond	Cristalografía de la hemoglobina	229
Bernal, Desmond	Trasladado a Londres	228, 229
Bernal, Desmond	Inclusión de átomos pesados	229
Berthelot, Marcellin P.	Invertasa	72
Berthollet, Conde Claude L.	Método de Nomenclatura Química	300
Berzelius, Jöns Jacob	Catálisis	72, 73
Bethe, Hans	Astrofísica	285
Bikini	Prueba nuclear	282
Biocosmos	Características	1
Birktoft, Jens	Modelo enzimático	90
Black, Joseph	Observaciones acerca del fuego	269
Blaw, David	Modelo enzimático	90
Blyansk	Tragedias nucleares	283
Bohr y Heisenberg	Discusiones semánticas	95
Bohr, Christian	Hemoglobina.	223
Bohr, Niels	Interpretación de Copenhague	17
Bohr, Niels	Opuestos complementarios	8,94, 184
Bohr, Niels	Función de onda	100
Bohr, Niels	Probabilidad y tendencia de la onda	100
Bohr, Niels	Diálogos con Schrödinger	105 hasta 111
Bohr, Niels	Hasta cuando vas a decirle a Dios	114
Bohr, Niels	Cartas a Einstein	115
Boltzmann, Ludwig	Termodinámica	280
Bondi, Herman	Prisionero de guerra	230
Born, Max	Función de onda	100
Born, Max	$\psi^2$ =Intensidad	121
Boulton, Mathew	Lunar Society	347
Bragg, Sir Lawrence	Cristalografía	214, 226, 227
Bragg, Sir Lawrence	Nombrado sustituto de Rutherford	228
Bragg, Sir Lawrence	Mejoría económica de Perutz	229
Bragg, Sir Lawrence	Reuniendo a Perutz y Kendrew	232
Bragg, Sir Lawrence	Abandona a Cavendish	235
Bragg, Sir William	Cristalografía	214, 226, 227
Brillouin, Léon	Quantum de información	32
Brown, Adrian	Bioquímica	75
Bruno, Giordano	Semblanza	51

Buchner, Eduard	Zymasa	73
Buchner, Hans	Zymasa	73
Buckyball	Actividad molecular	148
Bungus, Peter	Gematría	341
Bunn, Charles	Hemoglobina	229
Burbidge, Geoffrey	Astrofísica	285
Burbidge, Margaret	Astrofísica	285

## C

Cagniard Latour, Charles	Fermentación	68
Calvin	Evolución molecular	207
Camponotus, saundersi	Feromonas	329
CAMs	Cell Adhesion Molecules	178
Caos	Teogonia	254
Carlisle, Anthony	Oxígeno e hidrógeno en el agua	279
Carlsberg, Cervecería	Donante de becas	352
Carnot, Sadi	Termodinámica	280
Caroteno	Función clorofilica	207
Carotenoides	Función clorofilica	206
Carter, Brandon	Principios Antrópicos	32
Catálisis	Reacción química	72
Catástrofe Violeta	Teoría del quantum	103
Catenación	El carbono	9
Cavendish, Sir Henry	Descubrimiento del hidrógeno.	274, 275
Cavendish, Sir Henry	Semblanza	304,305, 307
Cech, Thomas	Ribozimas	62,79
CERN	Unificación electro-débil	12
CERN	Bosones	17
Chelyabinsk	Tragedias nucleares	282, 283
Chernobyí	Tragedias nucleares	282, 283
Ciclotrón biológico	Enzima	4
Cirilo	Obispo de Alejandria	344
Cisteína	Aminoácidos	83
CJMs	Cell Junctional Molecules	178
Clausius, Rudolf	Termodinámica	280
Clerk Maxwell, James	La luz y el electromagnetismo	103
Clorofila	Importancia biológica	204,205,206,207
Cloroplastos	Células eukarióticas	197,205,207
COBE	Satélite	10
Cohen-Tannoudji, Gilles	Constantes Físicas Universales	32
Colchicina	Propiedades	203
Conant, Bryant	Oxigenación y deoxigenación	221
Constantes Físicas Universales	Limitantes de Planck	7
Constantes Físicas Universales	Sub-Título	32

Corey, Robert	Repliegue molecular	85
Corey, Robert	Síntesis de Patterson	231
Cosmos	Teogonia	255
Cowan, George A.	Santa Fe Institution	166
CPT	Teorema	20
Crick, Francis	Panspermia	153
Crick, Francis Harry Compton	Percepción del futuro	38
Crick, Francis Harry Compton	What Mad Pursuit	233
Crick, Francis Harry Compton	Premio Nobel	240
Croning, James W.	Premio Nobel (mesón Ko)	21
Cronos	Teogonia	255

## D

Da Vinci, Leonardo	Inestabilidad emocional	287
Dalibard, J.	Prueba del teorema de Bell	114
Dalton, John	Ley de las Proporciones Múltiples	277
Dalton, John	Ley de las proporciones definidas	277
Dalton, John	Postulados	277,278
Dalton, Joh	Deuteranopia	279
Daltonismo	Deuteranopia	279
Darwin, Charles	Evolucionismo	5
Davisson, Clinton Joseph	Confirmación de la relación DeBroglie	101
Dawkins, Richard	Genes globínicos	217
De Broglie, Louis	Función de onda	100
De Broglie, Louis	Tesis	101
Demócrito	Mecanicismo	143
Demócrito de Abdera	Atomismo	276
Demócrito y Leucipo	Atomismo	141
Descartes, René	Mecanicismo	144
Descartes, René	Asociación del álgebra y la geometría	167
Deuterio	Fusión nuclear	284
Dextro y Levo	Nomenclatura química	209
Dintzis, Howard	Inclusión de átomos pesados	237, 238
Dintzis, Howard	Al dilucidarse la mioglobina	238
Dirac, Paul	Función de onda	100,101
Dirac, Paul	Algebra cuántica	102
Dirac, Paul	Conciliando Heisenberg y Schrödinger	102
Dirac, Paul	El spin como propiedad relativista	102
Dirac, Paul	Premio Nobel	103
Dirac, Paul A.	Antimateria	17
Ditto, William	Organización del Caos	185
Dose, Klaus	Porfirinas	207
Drake, Frank	Exobiología	29
Dreish, Eduard	Vitalismo	143
Dressler, David	Fuente de información	4
Dyson y Feynman	Diálogo acerca del electrón	99

## E

Echo	Programa de John Holland	171
Eddington, Sir Arthur	Astrofísica	285
Edelman, Gerald M.	Topología.	176, 179
Edelman, Gerald M.	Valorizando a Freud	311
Edelman, Gerald M.	Premio Nobel	311
Edman, Pehr	Secuencia de los aminoácidos	84, 85
Edman, Pehr	La hemoglobina y el Evolucionismo.	219
Efecto Mariposa	Caos determinístico	156
Einstein, Albert	Dualidad onda-partícula	46
Einstein, Albert	Fenómeno foto-eléctrico	94
Einstein, Albert	Opuesto al sentido común	45, 104
Einstein, Albert	Opuesto al Principio de Incertidumbre	105
Einstein, Albert	Dios no jugaba a los dados	114
Einstein, Albert	Cartas a Niels Bohr	115, 116
Einstein, Albert	Influencia de Euclides	166
Einstein, Albert	Encuestas	288
Einstein, Albert	Refiriéndose a Newton	289
Eleáicos	El Uno eterno e inmutable	254
Electrones	Hemoglobina	224, 225
Empédocles	Los cuatro elementos fundamentales	265
ENIAC	Electronic Numerical Integrator	154
Entelequia	Teleología	143
Enzimas	Capítulo	61
Erebo	Teogonía	254
Esquilo	Prometeo	5
Esquilo	Prometeo	43
Esquilo	Datos biográficos	256, 257
Euclides	Elementos	164
Euforion	Padre de Esquilo	257
Eugeneticismo	Personalidades psíquicas	312
Evolucionismo	Biología	151

## F

Feigenbaum, Mitchell	Números mágicos	155, 159, 160, 161
Feinstein, Berthram	Percepción del futuro	38
Fenilalanina	Aminoácidos	82
Fenk, Carlos	COBE	10
Fenotipo	Naturaleza Humana	310
Feromonas	Señales bioquímicas	326, 327
Ferrosa. Modalidad del Fe	En relación con los electrones	220
Feynman y Dyson	Diálogo acerca del electrón	99
Feynman, Richard	El electrón	4

Férrica. Modalidad del Fe	En relación con los electrones	220
Fischer, Emil	La llave y el candado	74, 89
Fischer, Emil	Estructura molecular	75
Fischer, Emil	Cadena de polipéptidos	77, 81
Fischer, H.	Estructura molecular de la clorofila	206
Fisión nuclear	Energía nuclear	281
Fitch, Val L.	Premio Nobel (mesón Ko)	21
Fourcroy, Conde Antoine F.	Método de Nomenclatura Química	300
Fowler, William	Astrofísica	285
Fox, Sidney W.	Porfirinas	207
Fractales (fractals)	En la naturaleza	91,162,163
Franklin, Benjamin	Amistad con Priestley	292,295
Franklin, Rosalind	Síntesis de Patterson	231
Freud, Sigmund	Orientación mecanicista	310
Fuchs, Klaus	Prisionero de guerra	230
Fucosa	Presencia en algas marinas	209

## G

Gaffron	Evolución molecular	207
Galton, Sir Francis	Eugeneticista	312
Gaia	Teogonia	254
Galileo	Actitud maliciosa	287
Galileo Galilei	Comparado con Giordano Bruno	53
Gamow, George	El Big Bang	7
Gamow, George	Nucleosíntesis	8
Gauss, Carl F.	Espacio curvo	166
Gematria	Numerología con sentido mágico	341
Genotipo	Naturaleza Humana	310
Germer, Lester Halbert	Confirmación de la relación DeBroglie	101
Glashow, Sheldon	Unificación electro-débil	12
Glashow, Sheldon	Evolución de sus ideas	124,125, 126, 128, 129
Gleick, James	Chaos, Making a New Science	155
Glicina	Aminoácidos	80
Glutamina	Aminoácidos	83
Goodwin, Brian	En colaboración con Kauffman	184
Gribbin, John	Cosmic Coincidences	175
Griest, Kim	Reporte de MACHOS	54
Grossmann, Marcel	Ayuda a Einstein en matemáticas	113
GUT	Teoría	12
Guth, Alan	Teoría inflacionaria	9
Guyau, J.M.	Percepción del futuro	40

## H

Hamilton, William	Matemática del altruismo	330
Hartley, Brian	Modelo enzimático	90
Haurowitz, Felix	Motivó a Perutz	214
Haurowitz, Felix	Cambio de cristales de hemoglobina	228
Haurowitz, Felix	Profesor de James Watson	229
Hawking, Stephen	COBE	10
Heisenberg y Bohr	Discusiones semánticas	95
Heisenberg, Werner	Principio de Incertidumbre	46
Heisenberg, Werner	Interpretación de Copenhague	17
Heisenberg, Werner	Función de onda	100
Heisenberg, Werner	Principio de Incertidumbre	101
Heisenberg, Werner	Premio Nobel	101
Heisenberg, Werner	Mecánica de matrices	102
Heisenberg, Werner	Refiriendo diálogo Bohr-Schrödinger	106
Hemocianina	Asociada al cobre	217
Hemoglobina	Introducción	207
Hemoglobina	Primera proteína cristalizada	216
Henri, Victor	Bioquímica	75
Heráclito	Discrepancia con los eleáticos	141
Hertz, Heinrich, R.	Confirmación del electromagnetismo	103
Hesiodo	Teogonia	257, 258
Hess, Victor	Premio Nobel	19
Hiroshima	Bomba atómica	281
Histidina	Aminoácidos	83
Hoard, Lynn	Corrección a Kendrew	245
Hodgkin, Dorothy Crowfoot	En cristalografía de la hemoglobina	227
Hodgkin, Dorothy Crowfoot	Intento fallido de incluir átomos pesados	232
Hodgkin, Dorothy Crowfoot	Átomos pesados	236
Hofmeister, Franz	Teoría enzimática	73
Hofmeister, Franz	Cadena de polipéptidos	77
Holland, John	Auto-organización	30, 171
Holland, John	Biogenesis	61
Holland, John	Echo	170
Holland, John	Teoría simbiótica célula eucariótica	197
Homo erectus	Concedor del fuego	264
Hoppe-Seyler Felix	Denominación de la hemoglobina	218, 219
Hoyle, Sir Fred	Panspermia	153
Hoyle, Sir Fred	Síntesis del carbono (astrofísica)	174, 175
Hoyle, Sir Fred	Astrofísica	285



Hölldobler, Bert	En colaboración con Edward O.Wilson	336
Huber, Robert	Hemoglobina	242
Hudson, H. Freeland	La personalidad de Perutz	246
Hume, David	Escepticismo empírico	44
Huygens, Christian	Teoría ondulatoria de la luz	103
Hüfner, Gustav	Peso molecular de la hemoglobina	222
Hypatia	Inmolada en Alejandria	344

## I

Interacciones físicas	Relaciones con el Biocosmos	146
Invertasa	Enzima	72
Islam	Mahoma	345
Isoleucina	Aminoácidos	81
Iteration	Complejidades	16

## J

Jacob, François	Premio Nobel	180
Jefferson, Thomas	Amistad con Priestley	295
Judson, Horace Freeland	Eighth day of Creation	5
Jung, Carl G.	Inconsciente colectivo	312

## K

Kaluga	Tragedias nucleares	283
Kant, Emmanuel	"a priori sintético"	44
Kauffman, Stuart	Datos biográficos	179 hasta 184
Kauffman, Stuart	Auto-organización	2, 30,170
Kauffman, Stuart	Biogenesis	61
Kauffman, Stuart	cycle states en el genoma	182
Kauffman, Stuart	Beca de la MacArthur Foundation	184
Kauffman, Stuart	Teoría de auto-organización	2

Kelvin, escala	Comparada a Celsius	10
Kendrew, John Cowdery	Cristalografía	231 232
Kendrew, John Cowdery	Decide estudiar la mioglobina	233
Kendrew, John Cowdery	Decide investigar mamíferos marinos	236
Kendrew, John Cowdery	Esclarece la molécula de la mioglobina	238
Kendrew, John Cowdery	Premio Nobel	240
Kepler, Johannes	Orbitas elípticas	53
Klein, Richard	Teoría simbiótica	197
Koshland, Jr. D.E.	Estado transicional	89
Kramers, H.A.	Probabilidad y tendencia de la onda	101
Krauss, Lawrence M.	COBE	10
Kroto, Howard	Buckyball	148
Kunitz, Moses	Quimotripsina	80

**L**

Lagrange, Conde Louis	Amistad con Lavoisier	299
Lagrange, Conde Louis	Honrando a Lavoisier	302
Langton, Christopher	Teoría de auto-organización	2
Langton, Christopher	Auto-organización	30,170
Langton, Christopher	Relación entre complejidad y caos	184
Laue, Max von	Rayos X en cristalografía	227
Lavoisier, Antoine	Fermentación	67
Lavoisier, Antoine Laurent	Abolición del phlogisto	274, 275, 276, 278
Lavoisier, Antoine Laurent	Oxígeno, hidrógeno y nitrógeno	276
Lavoisier, Antoine Laurent	Ley de conservación de las masas	277
Lavoisier, Antoine Laurent	Semblanza	297 hasta 303
Lawrence, Ernest Orlando	Invencción del ciclotrón	168, 356
Lee, Tsung Dao	Violación de simetría	20, 129
Leibniz, Goddfried Wilhelm	Invencción del cálculo	167, 291
Leucina	Aminoácidos	76, 81
Leucipo de Mileto	Atomismo	279
Leucipo y Demócrito	Atomismo	141
Lewin, Roger	Complexity. Life at the Edge of Chaos	184
Lewis, Gilbert	El photon	105
Libet, Benjamin	Percepción del futuro	38
Liebig, Justus von	Fermentación	67,68, 70,71,76
Liebig, Justus von	Leucina y Tirosina	77
Lindauer, Martin	Feromonas	332
Lindsay, Peter	Percepción del futuro	40
Lisina	Aminoácidos	82
Lorenz, Eduard	Caos determinístico	155
Lorenz, Konrad	Releasers y feromonas	331
Lunar Society	Agrupaciones científicas	346
Lysenko, Trofim Denisovich	Actitud anticientífica	318

MACHOS	Materia oscura	54
Mahoma	Islam	345
Mandelbrot, Benoit	Fractals	155,161
Mar Caspio	Tragedias nucleares	284
Marat, Jean Paul	Enemistado con Lavoisier	301
Marcus, Rudolph	Premio Nobel	97
Margulis, Lynn	Teoría simbiótica	196
Mark, Hermann	Enviando a Perutz a Cambridge	213,214
Marshall, islas	Prueba nuclear	281
Materia Oscura	Cosmología	53
Mathews, Brian	Modelo enzimático	90
Maxwell, James Clerk	Electromagnetismo	12
Maxwell, James Clerk	Publicación obra de Cavendish	305
Mayr, Ernst	Biogenesis	29
Mayr, Ernst	Teleonomía	143, 150
Mayr, Ernst	Naturaleza Humana	309
Mayr, Ernst	Biología y religión	322
Mecanicismo	Biología	143
Mereschovsky S. Konstantin	Teoría simbiótica célula eucariótica	197
Metionina	Aminoácidos	83
Miguel Angel	Inestabilidad emocional	287
Miller, Stanley	Biogenesis	151
Minkowski	Continuo espacio-tiempo	1, 39
Mitochondrias	Células eucarióticas	197
Modo	Función de onda	100
Molécula	En el biocosmos	1
Monod, Jacques	La hemoglobina, enzima honorífica	245
Monod, Jacques	Premio Nobel	180
Morveau, Guyton de	Método de Nomenclatura Química	300
Mulder, Geraldus	Molécula proteínica	75,76
Murray Gell-Mann	Santa Fe Institution	166
Nagasaki	Bomba atómica	281
NASA	COBE	10
Neuman, John von	Caos	155
Newton, Isaac	Teoría corpuscular de la luz	103
Newton, Isaac	Encuestas	167,289
Newton, Isaac	Flaquezas	289
Nicholson, William	Oxígeno e hidrogeno en el agua	279

Nodo	Función de onda	100
Norman, Donald	Percepción del futuro	40
Northrop, John	Quimotripsina	80
Nowak, Martin	Programa Pavlov	172
Número cuántico azimutal	Electrón	98
Número cuántico magnético	Electrón	98
Número cuántico principal	Electrón	98

O

Ohm, George S.	Ley de Ohm	305
Oparin	Evolución molecular	207
Opuestos Complementarios	Expresados en latín	94
Organellas	Justificación semántica	195
Orgel, Leslie	Panspermia	153

P

Packard, Norman	Teoría de auto-organización	2, 30,170
Pais, Abraham	Comparando a Einstein y Bohr	111
Panspermia	Teoría	152
Paradojas de Zenon	Dicotomía, Aquiles, La Flecha, etc.	164
Pasteur, Louis	Fermentación	69,70,71,76
Pasteur, Louis	Vitalismo	142
Patterson, Arthur L.	Discipulo de Sir William Bragg	231
Patterson, Síntesis de	Cristalografía	230
Pauli, Wolfgang	Principio de Exclusión	18
Pauli, Wolfgang	Premio Nobel	98
Pauling, Linus	Primera enfermedad molecular	200
Pauling, Linus	Repliegue molecular	85
Pauling, Linus	Premios Nobel	85
Pauling, Linus	Cristalografía	213
Pauling, Linus	La mecánica cuántica en la química	224
Pauling, Linus	Ligaduras electrostáticas	225,226
Paulze, Marie	Esposa de Lavoisier	300
Pavlov	Programa	172
Payen, Anselme	Diastasa	71
Pecora, Louis	Utilización del caos	185
Penzias, Arno	Premio Nobel	10
Personalidades psíquicas	Naturaleza humana	312, 313, 314

Persoz, Jean François	71
Perutz, con Hilary Muirhead	239
Perutz, Max	5
Perutz, Max	211
Perutz, Max	230
Perutz, Max	235
Perutz, Max	236
Perutz, Max	240
Perutz, Max	241, 242
Perutz, Max	245
PET	36,37
Phillips, David	238
Phlogiston	267, 268, 269, 270, 271
Photon	105
Phycobilinas	206
Physarum polycephalum	201
Phytoplanktum	204
Pirroles	208
Planck, Max	7
Planck, Max	7
Planck, Max	7
Planck, Max	46
Planck, Max	104, 167
Planck, Max	7
Poincaré, Henri	136
Popper, Karl	324
Porfirinas	207
Porphin	216
Potter, Huntington	4
Prairie dogs (Cynomys)	329
Priestley, Joseph	270, 271
Priestley, Joseph	293, 294, 295, 296
Priestley, Joseph	342
Prigogine, Ilya	2, 7, 11
Principio Antrop. débil	32
Principio Antrop. Fuerte	33
Prolina	81
Prometeo	284
Proust, Joseph Louis	277
Psicoanálisis ortodoxo	315, 316
Pulsars	Estrellas de neutrones. 53
Diastasa	71
Primera síntesis de Fourier	239
Eighth day of Creation	5
Relacionado con la hemoglobina	211
Prisionero de guerra	230
Cristales con elementos pesados	235
Crisis de alergia gastrointestinal	236
Premio Nobel	240
Palabras en acto	241, 242
La fisiología molecular	245
Percepción témporo-espacial	36,37
Mioglobina	238
Teoría de Stahl	267, 268, 269, 270, 271
Introducido por G. Lewis	105
Función clorofílica	206
Actina	201
Fotosíntesis	204
Lineales y cíclicos	208
Constante de	7
Masa de	7
Tiempo de	7
Constante de	46
Teoría del quantum	104, 167
Longitud de	7
Precursor del estudio del caos	136
En contra del darwinismo	324
Aspecto evolucionista	207
Compuesto tetrapirrólico	216
Fuente de información	4
Sociobiología	329
Descubrimiento del oxígeno.	270, 271
Semblanza	293, 294, 295, 296
Lunar Society	342
Big Bang	2, 7, 11
Biogenesis	32
Biogenesis	33
Aminoácidos	81
Robo del fuego en un tallo hueco	284
Similitud con Dalton	277
Naturaleza humana	315, 316
Estrellas de neutrones.	53

## Q

Quantum

Teoría del

105

## R

Rayos X	En cristalografía.	227
Reduccionismo	Biología molecular	144
Reduccionismo	Capitulo	195
Rees, Martin	COBE	11
Rees, Martin	Cosmic Coincidences	175
Reichert, Edward Tyson	La hemoglobina y el Evolucionismo.	219
Reid, E. Waymouth	Peso molecular de la hemoglobina	222
Rhea	Teogonia	256
Ribozimas	Enzimas no proteínicas	62,79
Riemann, George Friedrich B.	Concepción del espacio	165,166
Riggs, Austin	Inclusión de mercurio en la hemoglobina	234
Roebuck, John	Lunar Society	347
Roger, G.	Prueba del teorema de Bell	114
Rogers, Will	Chusco	21
Roux, Emile	Verificación de la entidad enzimática	73
Royal Society	Fundación	346
Rubbia, Carlo	Premio Nobel	12
Rubin, Vera	Materia Oscura	54
Rutherford, Daniel	Observaciones acerca del fuego	269, 270

## S

Sagan, Carl	Biogenesis	151
Sagan, Carl	Evolución molecular	207
Salam, Abdus	Unificación electro-débil	12
SAMs	Substrate Adhesion Molecules	178
Sanger, Frederick	Secuencia de los aminoácidos	84
Sanger, Frederick	La hemoglobina y el Evolucionismo.	221
Scheele, Carl Wilhem	Co-descubridor del oxígeno.	273
Schimper, A.	Teoría simbiótica célula eucariótica	197
Schrödinger ecuación general	Función de onda	100
Schrödinger, Erwin	Mecánica ondulatoria	17
Schrödinger, Erwin	Función de onda	100
Schrödinger, Erwin	Función de onda	100
Schrödinger, Erwin	Premio Nobel	103
Schrödinger, Erwin	Invitado por Bohr a Copenhague	105
Schrödinger, Erwin	Diálogos con Niels Bohr	106 hasta 111
Schrödinger, Erwin	Función de onda	116, 117, 118, 129
Schrödinger, Erwin	Biología molecular	144
Schwann, Theodor	Fermentación	68, 70
Schwinger, Julian	Unificación electro-débil	12
Sedgwick, Adams	Biología y religión	323

Segré, Gino	Comunicación personal	126, 127
Segré, Gino	Inducido por su padre a la física	357
Sela, Michael	Secuencia de los aminoácidos	86
Serina	Aminoácidos	82
Shakespeare, William	Versos	285
Shannon, Claud	Entropía y comunicación	328
Shaw, Bernard	En favor de actitud eugeneticista	318
Siberia	Tragedias nucleares	283
Sigler, Paul	Modelo enzimático	90
Sigmund, Karl	Programa Pavlov	172
Sinanthropus pekinensis	Homo erectus de la China	264
Slater, J.C.	Función de onda	100
Slater, J.C.	Probabilidad y tendencia de la onda	101
Smalley, Richard E.	Buckminsterfullerene	148
Smith, Adam	Economía	170
Solenopsis invicta	Feromonas	322
Spin	Electrón	98
Stahl, George Ernst	Teoría del Flogisto	267,268
Starobinsky, A.A.	Influencia gravitatoria (COBE)	11
State space	Situaciones caóticas	157
Stokes, George Gabriel	Espectrografía de la hemoglobina	219
Storm, D.R.	Estado transicional	89
Sumner, James	Cristalización de la ureasa	212
Sumner, James	Premio Nobel	212
SUSY	Teoría	12
Svedberg, Theodor	Peso molecular de la hemoglobina	222

## T

Teleología	Biología	143
Teleonomía	Biología	143
Termodinámica	Primera Ley	280
Theon	Padre de Hypatia	344
Thomson, G.P.	Confirmación de la relación DeBroglie	101
Thomson, J.J.	Descubrimiento del electrón	350
Tipler, Frank J.	Anthropic Cosmological Principle	34, 345
Tirosina	Aminoácidos	76
Tirosina	Aminoácidos	82
TOE	Teoría	12
Torus	Quasi periodic attractor	158
Traube, Moritz	Idea inicial de la enzima	71
Treonina	Aminoácidos	82
Triptofano	Aminoácidos	82
Tubulina	Molécula proteínica	202
Tula	Tragedias nucleares	283
Tunelización	Electrón	99

## U

Uniones de hidrógeno	ADN	88
Uniones iónicas	Interacción electrostática	87
Universo	Descripción	1
Urano	Teogonia	255
Urey, Harold	Biogenesis	151

## V

Valina	Aminoácidos	81
Van der Meer, Simon	Premio Nobel	13
Vitalismo	Biología	142

## W

W+, W-, Z	Partículas	12
Waddington, Conrad	Comentando la obra de Wilson	335
Wallace, Alfred R.	Evolucionismo	5
Watson, James	ADN	38
Watson, James	Discípulo de Haurowitz	229
Watson, James	The Double Helix	233
Watson, James	Premio Nobel	240
Watt, James	Lunar Society	347
Wedgewood, Josiah	Lunar Society	347
Weinberg, Steven	Unificación electro-débil	12
Wells, H.G.	En favor de actitud eugeneticista	318
Wheeler, John	Aforismo	46
Wheeler, John A.	Constantes físicas y biología	320
White, Fred	Secuencia de los aminoácidos	86
White, Martin	COBE	10
Wholism	Etimología	254
Wickramasinghe, Chandra	Panspermia	153
Withering, William	Introducción de la digital	347
Wilkins, Maurice	Premio Nobel	240
Willstatter, Richard Martin	Premio Nobel	212
Wilson, Edward O.	Religión y genes	48
Wilson, Edward O.	Naturaleza Humana	309
Wilson, Edward O.	Biología y religión	322
Wilson, Edward O.	Premio Pulitzer	324
Wilson, Robert	Premio Nobel	10
WIMPS	Materia oscura	55
Woodward, R.B.	Estructura molecular de la clorofila	205
WYSIWYG	Materia oscura	54



**X**

Xantophilos	Función clorofílica	206
-------------	---------------------	-----

**Y**

Yakut-Sakha	Tragedias nucleares	283
Yang, Chen Ning	Violación de simetría	20,21,129

**Z**

Zeus	Teogonía	256
Zinoffsky, O	Peso molecular de las proteínas	221,222
Zwicky, Fritz	Materia Oscura	53,54
Zymasa	Enzimas	73
Zymógeno	Enzimas	93

La elaboración de este libro fue realizada bajo la  
coordinación general del Dr. Pablo Iñiguez.

Diseño de Portada  
José Hermida

Impreso en agosto de 1994  
Imprenta UNPHU

Bajo la Dirección de  
Andrés Mercedes Z.

Fotomecánica: Gabriel Javier de la Cruz

Prensistas: José Ant. Tavárez y  
Bartolomé González

---

Terminadores: José Bello,  
Domingo Suero y Wilgen Linares.



009257



El Dr. Pablo Iñiguez, después de varias décadas de vida docente, es Profesor Emérito de la Universidad Nacional Pedro Henriquez Ureña. Su conocida obra de divulgación científica y filosófica incluye los libros: "Simplemente un Rayo de Luz," "Dialéctica del Biocosmos," "Quests" (publicada en inglés) y "Desde el Hombre de Neanderthal hasta el Renacimiento". Al mismo tiempo, ha mantenido a su cargo durante más de diez años, la sección EXTRA MED de la prestigiosa revista Acta Médica Dominicana. Es miembro de la Academia de Ciencias de la República Dominicana.