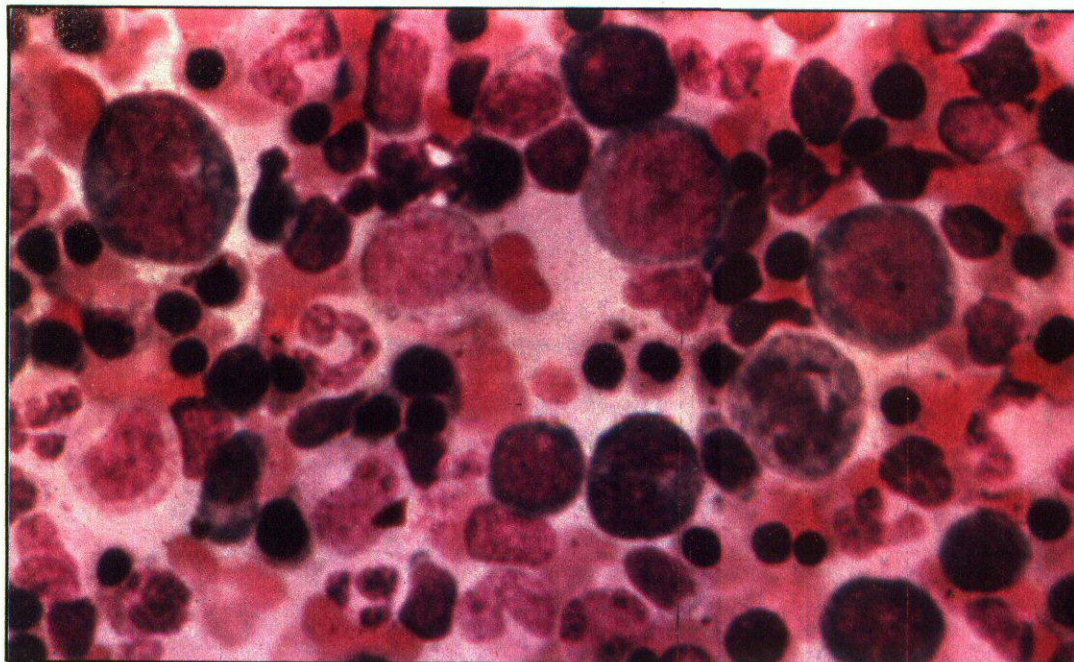


Ciencia

La estadística de Einstein: de la superfluidez a la biofísica

EN 1925 —los años terminados en 5: 1905, 1915, 1925, le son especialmente fructíferos— Einstein lleva a cabo su último descubrimiento memorable: la condensación de Bose-Einstein. El origen de éste se halla en una carta que le llega desde la India en junio de 1924: un joven investigador bengalí, Satyendra Nath Bose, ha visto rechazado un artículo que había enviado a la revista *Philosophical Magazine*, y remite una copia del mismo a Einstein con la esperanza de que éste pueda comprenderlo y apreciarlo. Se trata de una nueva deducción de la ley de Planck sobre la radiación del cuerpo negro —la que marcó el inicio de la mecánica cuántica en 1900. La reacción de Einstein es inmediata: el artículo del joven desconocido —que a partir de entonces pasará a la historia de la física— abre un nuevo camino a esta ciencia: el de las estadísticas cuánticas. El propio Einstein lo traduce al alemán y lo envía a publicar, con un elogioso comentario, a *Annalen der Physik*. Pero va aún más lejos: relaciona la idea de Bose con la reciente tesis doctoral de de Broglie, según la cual toda partícula conlleva asociada una onda, y extiende el método de Bose, válido tan sólo para partículas sin masa —los fotones de la radiación electromagnética, los fonones del sonido— a partículas con masa: las moléculas o átomos de un gas ideal. En este tipo de estadística, un estado cuántico puede ser ocupado por muchas partículas —a diferencia de la otra estadística cuántica, la de Fermi y Dirac, que comentá-bamos hace pocas semanas en estas páginas, en la cual en un estado cabe tan sólo una partícula. A muy bajas temperaturas, todas las partículas se acumulan en un solo estado: en esto consiste la condensación de Bose-Einstein, que sólo se da, en principio, en el caso, tratado por Einstein, de que las partículas tengan masa.

Las primeras reacciones a la publicación de este resultado fueron de sorpresa: ¿cómo puede



una inteligencia de primera categoría como Einstein perderse en estos fútiles ejercicios académicos sin aplicación conocida? ¿Cómo puede producirse una condensación en un gas ideal —es decir, sin fuerzas atractivas entre las partículas que lo componen— cuando la condensación habitual —la del vapor de agua en gotas de agua, por ejemplo— se debe precisamente a las atracciones entre sus partículas? Ehrenfest, Uhlenbeck y otros científicos consideraron este trabajo de Einstein como una excentricidad excusable en una persona de su talento. No será hasta trece años después, en 1938, que Fritz London proponga que la condensación de Bose-Einstein podría ser la clave para la explicación de la transición del helio líquido normal al helio superfluido, de propiedades sorprendentes y de considerable importancia en las expectativas tecnológicas actuales, descubierta en 1928, ¡tres años después de la fantástica especulación de Einstein!

Pero no es nuestro objetivo escribir un artículo sobre historia

de la física, sino sobre sus progresos actuales. Desde hace diez años está recibiendo cada vez mayor atención un descubrimiento de H. Fröhlich, de la universidad de Liverpool, según el cual este tipo de fenómeno —que en la teoría de Einstein sólo se da en partículas con masa— se puede dar también en partículas sin masa, o en excitaciones moleculares internas, a condición de que el sistema se halle suficientemente alejado del equilibrio termodinámico. Ello se inserta plenamente en el gran interés actual por los fenómenos de organización espontánea que aparecen en sistemas lejos del equilibrio.

Progresos recientes: macromoléculas biológicas

Las consecuencias del descubrimiento de Fröhlich parecen tener importancia en biología y es, de hecho, en el campo de la biofísica donde mayor expecta-

La biofísica, una parte de la biología que estudia las raíces más primarias de la vida. Conocer la física de las "moléculas vivas" sería conocer las razones de la propia vida

ción han suscitado. Una molécula cargada eléctricamente y rodeada de agua ve limitados sus efectos electrostáticos a un radio muy corto, ya que su carga es apantallada por las moléculas del agua. Si la carga de la molécula, en vez de estar inmóvil, oscila con una frecuencia elevada, el alcance espacial de sus efectos se dilata enormemente ya que los dipolos eléctricos del agua no tienen tiempo de apantallar o neutralizar la carga en rápido movimiento. En general, las cargas de las macromoléculas oscilan desordenadamente, de modo que sus efectos se cancelen mutuamente. Sin embargo, si se comunica energía a la molécula, dichos movimientos se pueden sincronizar alcanzando así efectos espectaculares. Esta sincronización es una consecuencia de la condensación de Bose-Einstein fuera de equilibrio propuesta por

Fröhlich: todas las oscilaciones se condensan en un solo estado molecular de frecuencia elevada y bien definida.

Esta ampliación del radio de acción podría ser importante en la explicación de ciertos aspectos de la actividad catalítica de los enzimas, absolutamente vitales en los procesos de todos los organismos. La energía sería en este caso energía metabólica procedente, por ejemplo, de la hidrólisis del ATP. A nivel experimental se han observado algunos resultados explicables mediante esta teoría. Así, por ejemplo, el aumento de la velocidad de desarrollo de semillas irradiadas en el dominio de frecuencias y potencias predicho por Fröhlich, o el aumento de la velocidad de agregación de los glóbulos rojos en comparación con lo que sería de esperar según las teorías habituales. Otro posible ejemplo, aún en

discusión, sería un cierto tipo de asimetría en el espectro Raman de membranas de células vivas, claramente diferente del de las células muertas.

Vemos, en fin, como especulaciones teóricas abstractas aparentemente fantasiosas y académicas pueden ser, a veces, en lugar de simples alucinaciones, anticipaciones de fenómenos posteriormente descubiertos. Condensación de Einstein en equilibrio, en 1925; condensación de Einstein fuera de equilibrio, hacia 1975; progresos en superfluidez, avances en biofísica... Juzgar hasta qué punto una investigación es meramente académica o, por el contrario, utilitaria y práctica es, en física, como en cualquier otra ciencia, muy difícil.

DAVID JOU
Departament de Física
Universitat Autònoma de Barcelona

Fotos: FOTOSTOCK

Nueva luz para la evolución biológica

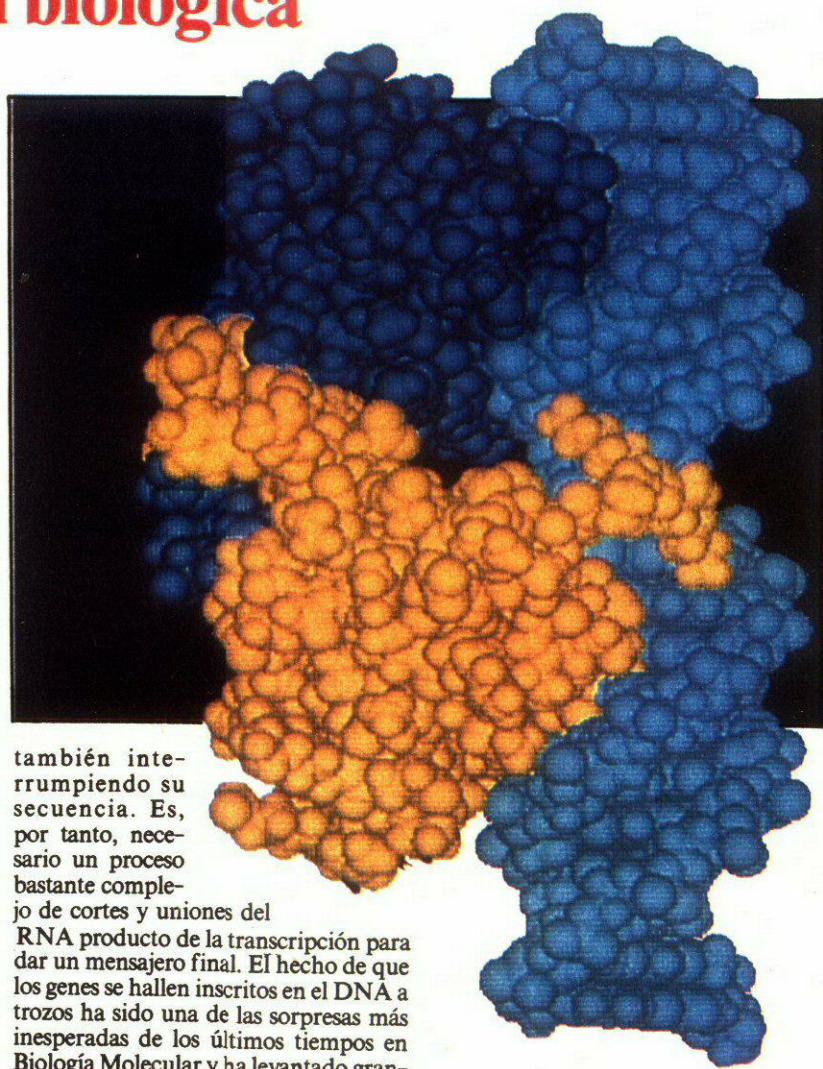
EN el funcionamiento molecular de los seres vivos hay tres grandes moléculas con las que parece que es posible dar cuenta de cómo se efectúa el flujo de información en la célula. Estas tres grandes moléculas son el DNA, el RNA y las proteínas. Las grandes protagonistas de la Bioquímica han sido durante más de treinta años las proteínas, mientras que el DNA es el objeto privilegiado con el que trabaja la Ingeniería Genética. El RNA parece quedar en todo este tiempo como un oscuro comparsa de la actividad de las otras dos. Una serie de descubrimientos recientes llaman la atención sobre el papel esencial que el RNA lleva a cabo en la célula y podrían dar una nueva luz acerca de los estadios primitivos de la evolución biológica.

En la cadena molecular que explica el flujo de información en la célula, el DNA cumple la función esencial de almacenar la información genética mientras las proteínas han sido consideradas como las principales moléculas activas de la célula. Un ejemplo típico de las actividades de las proteínas nos lo dan los enzimas. Se trata de aquellas sustancias que tienen actividad catalítica, es decir, que permiten realizar las reacciones químicas esenciales para la célula proporcionando a los procesos biológicos su extraordinaria eficacia y rapidez. Un paso importante en la Bioquímica de nuestro siglo consistió en el descubrimiento de que los enzimas son proteínas. El investigar cómo estas largas moléculas que son las proteínas, plegadas en el espacio de una forma característica, producen la actividad catalítica es una de las líneas de investigación más importantes de la moderna Bioquímica. El dogma según el

cual todos los enzimas son proteínas acaba de ser claramente destruido. El RNA puede tener también actividad enzimática.

En dos trabajos recientes publicados por laboratorios americanos se demuestra que moléculas compuestas únicamente de RNA son capaces de tener una actividad con todos los requerimientos de los enzimas. Ello quiere decir que en su presencia ciertas reacciones suceden con mayor rapidez y que la molécula de RNA queda al final de la reacción igual como al principio lista para continuar su acción. Es interesante destacar que en los dos casos se trata de actividades que tienen que ver con el mismo RNA, en particular con su procesamiento y degradación.

La función más conocida del RNA consiste en el transporte de la información genética desde el núcleo hasta el citoplasma. A las moléculas que realizan tal función se las conoce como RNA mensajero. En este proceso un fragmento de DNA es copiado, o transcrito como se designa este proceso, dando lugar a un RNA que es su copia. En general la transcripción se efectúa de toda una zona del DNA en la que se halla un gen. La mayoría de los genes contienen en forma codificada la secuencia de una proteína. Se sabe desde hace unos diez años que el RNA producto de la transcripción contiene, aparte de las secuencias que codifican para la proteína, otras secuencias que en principio no contienen información alguna. Para dar lugar al RNA mensajero final es necesario que el RNA se procese, es decir, que estas secuencias no codificantes desaparezcan. Estas secuencias suplementarias pueden hallarse en los extremos del RNA pero



también interrumpiendo su secuencia. Es, por tanto, necesario un proceso bastante complejo de cortes y uniones del RNA producto de la transcripción para dar un mensajero final. El hecho de que los genes se hallen inscritos en el DNA a trozos ha sido una de las sorpresas más inesperadas de los últimos tiempos en Biología Molecular y ha levantado grandes especulaciones acerca de su significado en particular con relación al origen y evolución de los genes. Los resultados recientes que hemos

Gráfico computarizado de una molécula de DNA-B unida a una proteína lambda represora

mencionado vienen a demostrar que moléculas de RNA producto de este procesamiento o que intervienen en éste, son capaces, en ausencia de proteínas, de actuar de forma catalítica en la degradación de otras moléculas de RNA. Con ello aparece que en estas reacciones el RNA no necesita de ningún tipo de moléculas para procesarse a sí mismo. Como consecuencia de estos resultados se han propuesto varios modelos para explicar cómo el RNA puede reproducirse a sí mismo y cómo puede evolucionar uniéndose entre sí fragmentos de estas largas moléculas mediante mecanismos de los que los actuales sistemas de procesamiento serían una reliquia. ¿Nos hallamos por tanto ante los restos de cómo funcionaron las primeras moléculas antes quizá de que existieran células propiamente dichas?

En cualquier caso una nueva ciencia, la enzimología de RNA, acaba de nacer. Los ejemplos ahora disponibles tienen que ver con el procesamiento y la degradación del RNA. Hay varios otros procesos en los que se sabe que intervienen moléculas de RNA, como el transporte de proteínas a través de membranas y sobre todo la traducción de RNA a proteínas. Los ribosomas, donde se efectúa el proceso de la traducción, son una de las asociaciones de moléculas biológicas más complejas que se conocen. En ellos intervienen múltiples componentes, entre ellos tres moléculas de RNA y más de 50 proteínas distintas. Ya hace mucho tiempo que varios grupos, entre ellos uno español del Centro de Biología Molecular de Madrid, vienen llamando la atención acerca de que muchas funciones que están localizadas en el ribosoma pueden tener al RNA y no a las proteínas como responsables. Por ahí aguardan probablemente nuevas sorpresas.

PERE PUIGDOMENECH
CSIC