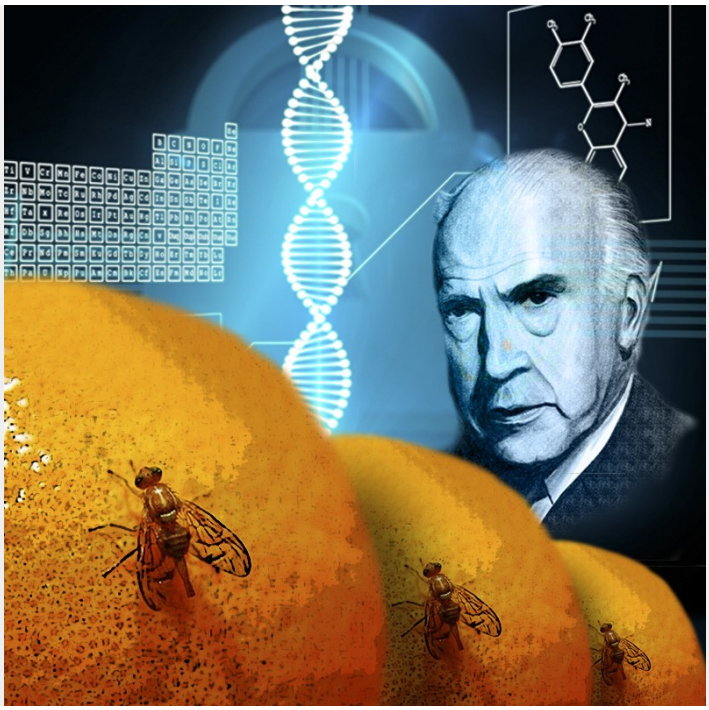
LUZ Y VIDA

Posted on 25 marzo, 2015 by Moisés Santillán Zerón



Niels Bohr. Hoy en día no se le reconoce tanto, pero en su tiempo fue tan reconocido como Albert Einstein, y no es aventurado decir que fue aún más influyente...

Categories: Año internacional de la luz, Ciencia

Tags: Ciencias Exactas, Física

Niels Bohr el 15 de agosto de 1932 dictó la conferencia inaugural del Congreso Internacional de Luminoterapia en Copenhague, Dinamarca. El objetivo de dicha

plática era llamar la atención de la audiencia sobre las posibles consecuencias epistemológicas que los descubrimientos de la mecánica cuántica (entonces recientes) pudieran tener sobre las ciencias biológicas.

En particular, Bohr argumentó en dicha conferencia que el concepto de complementariedad (introducido por él cinco años antes en el Congreso Internacional de Física en Como, Italia) pudiera también ser relevante en Fisiología. Poco se imaginaba Bohr lo influyente que iba a ser su conferencia, y el rumbo que iba a tomar la biología a partir de sus ideas.

Niels Bohr fundó el Instituto de Física Teórica de la Universidad de Copenhague.

Hoy en día no se le reconoce tanto, pero en su tiempo Niels Bohr fue tan reconocido como Albert Einstein, y no es aventurado decir que fue aún más influyente. La razón es que no sólo hizo aportaciones fundamentales para el desarrollo de la mecánica cuántica, sino que también fundó el Instituto de Física Teórica de la Universidad de Copenhague; donde él mismo formó físicos de gran calibre, como Hans Kramers, Oskar Klein, George de Hevesy y Werner Heisenberg.

Entre las aportaciones de Bohr está el modelo atómico que lleva su nombre y el ya mencionado principio de complementariedad. El modelo atómico de Bohr sostenía que los niveles de energía de los electrones son discretos, y que éstos orbitan alrededor del núcleo en trayectorias estables, pudiendo saltar de un nivel de energía a otro. Aunque el modelo de Bohr ha sido superado y suplantado por otros modelos más precisos, sus principios fundamentales continúan siendo válidos.

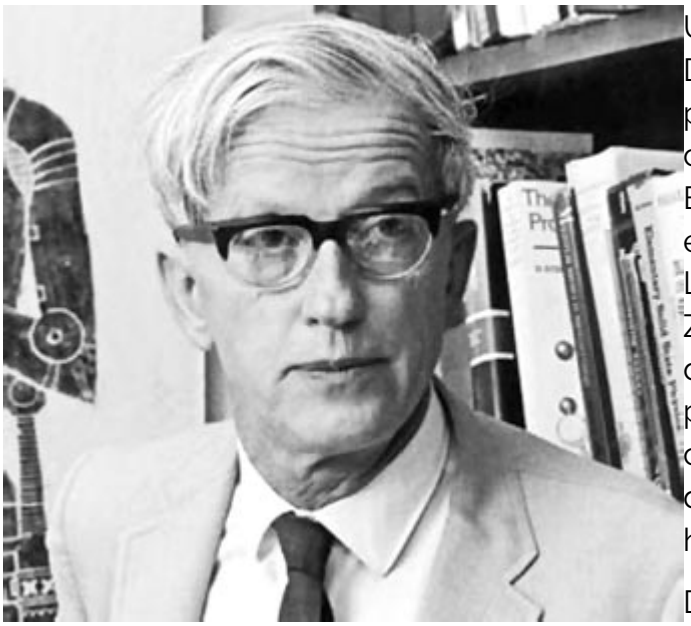
El principio de complementariedad sostiene que existen propiedades de un sistema, que no pueden ser medidas con exactitud simultáneamente.

Por otra parte, el principio de complementariedad sostiene que existen propiedades de un sistema, que no pueden ser medidas con exactitud simultáneamente. Entre mayor sea la precisión con que se mide una propiedad, menor será la precisión con que se puede medir la propiedad complementaria (de acuerdo con el principio de incertidumbre de Heisenberg). Finalmente, la descripción completa de un fenómeno en particular solamente puede alcanzarse a través de mediciones de todos los pares de propiedades complementarias, bajo distintas condiciones experimentales. Ejemplos de propiedades complementarias son:

1. Posición y velocidad
2. Propiedades de onda y partícula de la luz

La noción de complementariedad dominó el pensamiento de Bohr tanto en ciencia como en

filosofía. Fue así como en la conferencia "Luz y Vida", discutió las implicaciones que el principio de complementariedad pudiera tener sobre el desarrollo de las ciencias de la vida.



Max Delbrük, doctor en física por la Universidad de Gotinga e investigador en Bristol.

Uno de los asistentes a dicha conferencia fue Max Delbrück, quien había obtenido su doctorado en física por la Universidad de Gotinga (bajo la tutela de científicos de la talla de Max Born, Pasqual Jordan y Eugene Wigner), y posteriormente había hecho varias estancias de investigación en Bristol (con John E. Lennard-Jones), en Copenhague (con Bohr) y en Zurich (con Wolgang Pauli). En su doctorado y durante sus estancias posdoctorales trabajó principalmente en física nuclear y en mecánica cuántica de enlaces químicos. Sin embargo, las ideas de Bohr hicieron resonancia en él y a la postre lo hicieron cambiar la física por la biología.

Después de 3 años de estancias posdoctorales, Delbrück regresó a Berlín en 1932 como asistente de Lise Meitner, quien entonces colaboraba con Otto Hahn estudiando los efectos de radiar uranio con neutrones (un proyecto precursor de la bomba atómica y de la energía nuclear). Sin embargo, Delbrück no pudo resistir el llamado de la biología. Paradójicamente, la llegada de los Nazis al poder en 1933, y la censura que inmediatamente ejercieron sobre la actividad académica en Alemania, incentivaron a Delbrück a tener reuniones privadas con el genetista de origen ruso Nikolay V. Timofeev-Ressovsky, así como con el físico y radio-biólogo Karl W. Zimmer.

Delbrück, Timofeev-Ressovsky y Zimmer se abocaron a estudiar un fenómeno recientemente descubierto por Thomas H. Morgan y su entonces alumno Hermann J. Muller: al irradiar moscas de la fruta con rayos X (una forma de luz) se incrementa notablemente la tasa de mutación en las mismas.

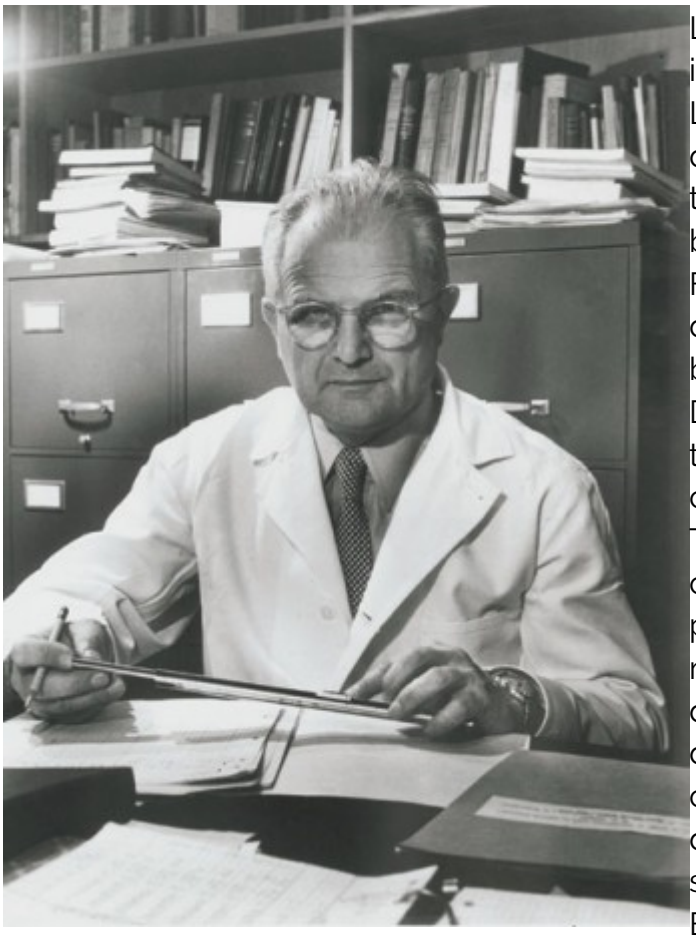
Abriendo un paréntesis, la disponibilidad de una gran variedad de mutaciones fue esencial para el equipo de Morgan pues, cruzando moscas mutantes y estudiando la frecuencia con la que mutaciones que normalmente aparecen juntas se disocian, lograron demostrar por primera vez que los genes se encuentran alineados a lo largo de los cromosomas. Antes de eso, los genetistas consideraban a los genes como partículas de información que se heredan de padres a hijos de acuerdo a las leyes de Mendel, pero no sabían en qué parte del organismo o de la célula estaban. De hecho, ni siquiera estaban seguros si al concepto de gen le correspondía una realidad material.


Thomas H. Morgan, genetista estadounidense que estudió la historia natural, zoología, y macromutación en la mosca de la fruta.

Regresando a Delbrück y colaboradores, a sabiendas de que los genes estaban en los cromosomas, ellos se preguntaron cuál debería ser su naturaleza química para ser consistente con los resultados cualitativos y cuantitativos de mutagénesis inducida por rayos X. A la conclusión que llegaron es que las mutaciones son análogas a la ionización de cristales inorgánicos, y por ende que los genes comparten propiedades con los cristales. Específicamente, Delbrück, Timofeev-Ressovsky y Zimmer sugirieron que los genes son moléculas orgánicas que pueden verse como cristales aperiódicos. La falta de periodicidad es importante, pues de otra forma los mencionados cristales no podrían almacenar la información genética. Los resultados de esta investigación fueron publicados en una revista científica de poca circulación, aunque daba a los autores un número grande de copias. Y así, el artículo resultante empezó a circular de mano en mano hasta que, eventualmente, llegó a manos de Erwin Schrödinger a finales de la Segunda Guerra Mundial. Más adelante retomaremos esta vertiente de la historia.

En 1937, Delbrück recibió una beca de la fundación Rockefeller para trasladarse a los Estados Unidos, con el fin de investigar, bajo la dirección de Thomas Morgan (quien para entonces ya se

había cambiado al Caltech, en California), la genética de la mosca de la fruta. Sin embargo, su escasa formación en biología le dificultó a Delbrück adaptarse al equipo de Morgan, y en lugar de ello empezó a colaborar con E. L. Ellis, estudiando virus que infectan bacterias (conocidos como bacteriófagos, o simplemente fagos).



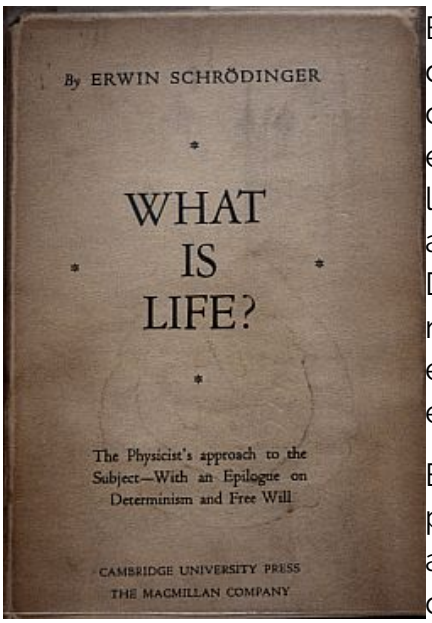
Milislav Demerec, aisló siete cepas de fagos del drenaje de Nueva York.

La investigación con fagos jugó un papel muy importante en el desarrollo de la biología molecular. Los fagos fueron descubiertos en la segunda década del siglo XX, pero no fue hasta tres décadas más tarde que se convirtieron en las estrellas de la biología molecular. Todo empezó cuando Demerec y Fano aislaron del drenaje de Nueva York siete cepas de fagos (denominadas T1-T7) que infectan a la bacteria *E. coli.* En la década de los cuarenta, Delbrück convenció a los investigadores que trabajaban con las diferentes cepas de fagos que concentraran sus esfuerzos en los bacteriófagos T2 y T4, fundando así el memorable *Grupo del Fago*. La creación de este grupo, en el que participaron no pocos físicos, dio ímpetu a la investigación en biología molecular, y permitió en la década siguiente desarrollos muy importantes como: el descubrimiento de Hershey y Chase sobre los genes y su composición de ADN, el descubrimiento de Delbrück del fenómeno de recombinación del fago T4, la secuenciación de los genes de T4 lograda por Benzer, el descubrimiento de Luria de modificaciones y restricciones inducidas por el hospedero, la validación del código genético por parte de Streisinger, el descubrimiento de Cohen sobre las infecciones con fagos que generan nuevas rutas metabólicas, las observaciones de Volkin y Astrachan, así como de Brenner y colaboradores, que condujeron a Spiegelman a demostrar la existencia del RNA mensajero, y un gran número de etcéteras. Tan trascendental fue el Grupo del Fago que cuatro de sus integrantes fueron a la postre ganadores de premios Nobel: Max Delbrück, Salvador Luria, Alfred D. Hershey y Renato Dulbecco.

Regresemos con Erwin Schrödinger, quien recibió el premio Nobel de Física en 1933 gracias al descubrimiento de la ecuación que lleva su nombre y que es la que gobierna el comportamiento dinámico de los sistemas cuánticos. Schrödinger tuvo una vida de novela. Nació y estudió en Viena, entonces capital del Imperio Austro-húngaro. Poco tiempo después de haber obtenido su doctorado, Schrödinger participó en la Primera Guerra Mundial (en el frente austro-italiano) como oficial de artillería. Al terminar la guerra consiguió trabajo como asistente de Max Wien (inventor del puente de Wien) en la Universidad de Jena, Alemania. Posteriormente pasó por las Universidades de Stuttgart (donde descubrió la Ecuación de Schrödinger) y Breslavia (actualmente en Polonia), para finalmente llegar en 1927 a la Universidad de Berlín, sucediendo a Max Planck en la cátedra de física teórica. Sin embargo, debido a sus diferencias con el régimen Nazi, Schrödinger abandonó Berlín y aceptó una plaza en la Universidad de Oxford. Estando en Oxford recibió el premio Nobel, sin embargo las cosas no funcionaron, pues la conservadora sociedad inglesa no aprobaba el hecho de que viviera con su esposa y con su amante en la misma casa. En 1934 visitó la Universidad de Princeton y le ofrecieron una plaza ahí, pero no la aceptó. Al parecer su heterodoxa relación familiar, aunada al hecho de que los Estados Unidos estaban en plena prohibición alcohólica fueron los factores determinantes. Finalmente, en 1936 se incorporó a la Universidad de Graz, pero fue despedido en 1938 cuando los Nazis conquistaron Austria. No le perdonaron que hubiera abandonado su plaza en Berlín. Además de perder su puesto, Schrödinger era constantemente acosado y tenía prohibido abandonar el país. Sin embargo, con la ayuda de sus amigos escapó primero a Italia, y luego a Oxford y Gante (Bélgica), para terminar en 1940 en Irlanda, por invitación expresa del primer ministro.



Erwin Schrödinger, premio Nobel de Física en 1933 gracias al descubrimiento de la ecuación que lleva su nombre.



Portada del libro de Schrödinger

En Irlanda, Schrödinger fundó la Escuela de Física Teórica del Instituto de Estudios Avanzados de Dublín. En 1943 impartió, como parte de su contrato, una serie de conferencias en el Trinity College de Dublín. En estas conferencias, Schrödinger platicó acerca de un artículo que había llegado hacía poco a sus manos, y que le había impresionado. Este artículo no era otro que el que unos años antes habían publicado Delbrück, Timofeev-Ressovsky y Zimmer, y en el que estudiaban la naturaleza química de los genes. El año siguiente, Schrödinger publicó el libro "Qué es la vida? el aspecto físico de la célula viva" basado en estas conferencias.

El libro contiene muchas ideas interesantes. Por ejemplo, en varios pasajes, Schrödinger discute cómo los seres vivos desafían aparentemente la segunda ley de la termodinámica. Pero lo que más cautivó el imaginario científico fue la discusión, inspirada en el artículo de Delbrück, Timofeev-Ressovsky y Zimmer, acerca de la información genética codificada en una molécula aperiódica. Gracias a esta discusión muchos científicos, entre ellos muchos físicos, se volcaron hacia la biología molecular después de leer el libro de Schrödinger.

Ciertamente su libro no daba cuenta de los descubrimientos más recientes en el área y tenía no pocos conceptos erróneos (Schrödinger no era biólogo y nunca trabajó con sistemas biológicos). Sin embargo, es indudable que impulsó a muchos jóvenes científicos (como James Watson, Francis Crick, Maurice Wilkins, Seymour Benzer, François Jacob, y otros) a buscar la molécula de la vida.

Hubieron de pasar casi 10 años entre la publicación de "Qué es la vida?" y el descubrimiento de Watson y Crick de la estructura de doble hélice de la molécula de ADN. Una posible causa de este retraso es que en 1944 faltaba una pieza clave; el concepto matemático de información, que llegó a la biología gracias a proyectos científicos auspiciados por el ejército norteamericano.



John von Neumann, matemático que realizó contribuciones fundamentales en física cuántica, análisis funcional, teoría de conjuntos, teoría de juegos, ciencias de la computación.

Uno de dichos proyectos tenía como objetivo usar la información de radares para controlar eficientemente los cañones antiaéreos. Tres de las personas involucradas en este proyecto fueron Claude Shannon (quien desarrolló la teoría de la información para estudiar el procesamiento de señales), Norbert Wiener (quien estaba convencido de que los sistemas de control en las máquinas y en los seres vivos son análogos, y quien acuñó el término cibernética para estudiar esta analogía), y John von Neumann (co-creador de la cibernética). Este último se interesó por la biología molecular y de hecho fue la primer persona en argumentar que los genes portan información en el sentido de la teoría de Shannon, así como en describir al gen como una cinta con información que es leída por la máquina de Turing. La máquina de Turing es un dispositivo hipotético que puede leer y escribir sobre la cinta, de acuerdo a ciertas reglas básicas, y que es muy utilizado en teoría de la computación pues es capaz de simular cualquier algoritmo computacional. En el caso de los genes, la analogía de la máquina de Turing y la polimerasa de RNA es asombrosamente acertada.

Diez años después de las conferencias de Schrödinger, Watson y Crick no sólo descubrieron la estructura tridimensional de la molécula de ADN, casualmente empleando los nuevos conceptos de la cibernética, sino que catapultaron a la biología a una nueva era. Para empezar, con la siguiente oración de su artículo: "por tanto parece probable que la secuencia precisa de pares de bases es el código que porta la información genética," desataron una nueva avalancha de eventos que terminó con el descubrimiento del código genético de Crick, Brenner, Barnett y Watts-Tobin en 1961. Y la historia continúa hasta la fecha. El proyecto del genoma humano, la ingeniería genética, la biología sintética, etc. son sólo algunos ejemplos de líneas de investigación recientes que tienen en la plática de Niels un ancestro común.

Hemos visto cómo la luz (entendida ésta en un sentido muy amplio) influyó en el desarrollo de la biología molecular. Por una parte, las especulaciones de Niels Bohr, inspiradas en la naturaleza onda-partícula de la luz, motivaron a Max Delbrück y otros científicos a buscar las leyes de la naturaleza que probablemente hicieran falta para entender el fenómeno de la vida. A la postre no encontraron nuevas leyes, y de hecho el consenso actual es que no hacen falta, pues las leyes hasta ahora descubiertas han podido explicar la totalidad de los fenómenos biológicos estudiados.

Sin embargo, los reclutas de Bohr hicieron grandes aportaciones que dieron forma a la biología molecular. Por otra parte, el descubrimiento de que los rayos X inducen mutaciones permitió trazar el camino que culminaría con el descubrimiento de que el ADN es la molécula portadora de la información genética. Pero eso no es todo. William Lawrence Bragg y William Henry Bragg introdujeron en Cambridge, en 1913, la técnica de cristalografía de rayos X, para determinar la estructura de moléculas cristalinas a partir del patrón de difracción resultante de iluminar los cristales con luz de altísima frecuencia. Pronto, sus estudiantes empezaron a estudiar moléculas orgánicas, y lograron descubrir la estructura del virus del tabaco, de la hemoglobina, de la mioglobina, de la hélice alfa de las proteínas, y del ADN. Respecto a este último descubrimiento, hemos visto cómo Watson y Crick pueden considerarse herederos de Bohr, Delbrück, Schrödinger y von Neumann, pero también de los Bragg, pues emplearon la técnica inventada por éstos para elucidar la estructura tridimensional del ADN. C^2