



**TEMPORALIDAD,  
INTERACCIÓN  
Y DINAMISMO  
CULTURAL**

**La búsqueda  
del hombre**

*Homenaje al Profesor  
Dr. Luciano Núñez Atencio.*

**Editores**  
**André HUBERT R. SJ**  
**José Antonio GONZÁLEZ P.**  
**Mano PEREIRA**

**Universidad Católica del Norte**  
**Ediciones Universitarias**  
**Antofagasta**  
**2011.**

Universidad Católica del Norte  
Ediciones Universitarias

Temporalidad, intertracción y dinamismo cultural.  
La búsqueda del hombre.  
Homenaje al Profesor Lautaro Núñez Arencio.

Eds.

Andrés Hubert R.

José Antonio González P.

Mario Pereira.

ISBN 978-956-287-330-7

Septiembre 2011

Diseño:

Nelson Torres

Ediciones Revista Mensaje

Impresión:

**TEMPORALIDAD,  
INTERACCIÓN  
Y DINAMISMO CULTURAL**

**La búsqueda del hombre**

Homenaje al Profesor  
Dr. Lautaro Núñez Atencio

Eds.  
André HUBERT R. sj  
José Antonio GONZÁLEZ P.  
Mario PEREIRA

|   |            |
|---|------------|
| LOS DEMONIOS DE LA TIRANA<br><i>Alberto DÍAZ ARAYA</i>  | 323        |
| LOS MITOS ANDINOS COMO ARGUMENTACIÓN CULTURAL<br><i>Luis Alberto GALDAMES ROSAS, Ph.d</i>   | 337        |
| EN BUSCA DE LAS HUELLAS DE LA TECNOLOGÍA SALITRERA DEL SIGLO XIX<br>SEARCHING THE TRACKS OF CHILEAN NITRATE TECHNOLOGY<br>IN THE NINETEEN CENTURY<br><i>Sergio GONZÁLEZ MIRANDA</i>                                       | 353        |
| LA ARQUEOLOGÍA Y ANTROPOLOGÍA Y EL RESCATE PATRIMONIAL<br>E IDENTITARIO DEL NORTE GRANDE. LA ESTANDARIZACIÓN DE LOS<br>ESTUDIOS SOBRE LOS PUEBLOS ORIGINARIOS EN LOS AÑOS 50 Y 60<br><i>José Antonio GONZÁLEZ PIZARRO</i> | 391        |
| <b>C. DE LA CULTURA CON CARINO</b>  | <b>439</b> |
| DAMIÁN DE MORALES USABAL, DE FUNCIONARIO COLONIAL<br>A PRIMER COLONIZADOR HISPANO EN PICA: UN ACTOR Y TESTIGO<br>DEL SUR ANDINO EN LA PRIMERA MITAD DEL SIGLO XVII.<br><i>Jorge HIDALGO L.</i>                            | 441        |
| ¿QUIÉN NARRA EL DEPORTE?<br>DEPORTE, LITERATURA Y SOCIEDAD EN EL NORTE GRANDE<br><i>Bernardo GUERRERO JIMÉNEZ</i>   | 477        |
| UN PAÍS TAN LARGO Y TAN ANGOSTO:<br>ALGUNAS CONSIDERACIONES ACERCA DE NUESTRA IDENTIDAD CULTURAL<br><i>Gonzalo FIGUEROA YAÑEZ</i>   | 497        |
| LOS ÁTOMOS:<br>LA FANTÁSTICA HISTORIA DE SU DESCUBRIMIENTO<br><i>Rafael BENGURIA</i>  | 503        |

## LOS ÁTOMOS: LA FANTÁSTICA HISTORIA DE SU DESCUBRIMIENTO

*Rafael BENGURIA, Departamento de Física, Pontificia Universidad Católica de Chile.*

Este artículo está cordialmente dedicado al Prof. Lautaro Núñez, Profesor de la Universidad Católica del Norte, Premio Nacional de Historia 2002, Director del Museo Arqueológico Padre Gustavo Le Paige, en San Pedro de Atacama.

En 2011 se celebran los 100 años del modelo atómico de Rutherford. Pocas cosas en la historia de la ciencia han tenido un impacto tan grande en la vida de las personas como la que han tenido todos los descubrimientos en torno a los átomos durante este último siglo. La verdad es que la historia de los átomos es una historia fantástica, muy antigua, a la que han contribuido una gran cantidad de personas, provenientes de las más diversas disciplinas. Es una historia cuyo final real, quizás, aún no conocemos, y la cuál sigue dando sorpresas hasta hoy.

En este artículo daré un breve bosquejo sobre los aspectos más relevantes de esta historia, sobre sus protagonistas, y sobre sus consecuencias. Por razones de espacio, he seleccionado solo algunos aspectos de esta historia, y lamentablemente he dejado a muchos fuera. Acompañenme a lo largo de esta historia.

La historia de los átomos, como muchas otras, empieza en la antigüedad clásica griega. La verdad es que empieza más bien en el ámbito filosófico que en el ámbito científico. Demócrito de Abdera (460-370 AC), discípulo de Leucipo, imaginaba las cosas como hechas de pequeñas partículas indivisibles, los átomos (palabra griega que significa precisamente “sin división”). Esta idea la expuso en su libro “El pequeño orden del mundo”, libro que ha desaparecido y sobre el cual hay referencias indirectas. En ciertos pasajes de dicho libro Demócrito escribía: “...no hay nada más que átomos y espacio, lo demás son sólo opiniones...”.

Sin embargo, en la antigüedad la idea de los átomos era sólo una idea filosófica, sin comprobación experimental. Más bien un sueño que una

realidad. Para poder conectar la idea de los átomos con algún experimento físico hubo que esperar veinte siglos. La razón que hubo que esperar tan largo tiempo no tiene que ver con un atraso intelectual sino que con la falta de aparatos de medición suficientemente sofisticados como para llevar a cabo mediciones precisas.

En el siglo XVII, se introdujeron los primeros instrumentos precisos de medición que abrieron un amplio camino para la experimentación científica. Un discípulo de Galileo Galilei, Evangelista Torricelli introdujo aparatos de mercurio para medir la presión de un gas. También en esa época se introdujeron los primeros termómetros de mercurio que permitieron tener mediciones bastante precisas de la temperatura de un gas. Armados de ambos instrumentos, Boyle y Mariotte, hicieron muchos experimentos con gases, calentándolos y viendo como se expandían al aumentar la temperatura. Llegaron a la conclusión que a temperatura constante el producto de la presión de un gas por el volumen que ocupa es constante. Pero, ¿qué tiene que ver esto con alguna idea de los átomos? Aquí entra, como en las obras de teatro, nuestro primer personaje de la historia contemporánea de los átomos: Daniel Bernoulli.

Daniel pertenecía a una famosa familia de matemáticos de la ciudad Suiza de Basilea, a orillas del río Rin. Su padre Johann y su tío Jakob eran de los más famosos matemáticos de su época. Johann fue el mentor del famoso Leonhard Euler, quien era muy amigo de Daniel. Daniel, quien fuera por algún tiempo profesor en la Academia de Ciencias de San Petersburgo, a orillas del río Neva, hizo una gran cantidad de contribuciones en física y matemáticas. Escribió un tratado de Hidrodinámica, que fue fundacional. En ese tratado, entre muchas otras cosas introdujo lo que en el lenguaje actual se conoce como la "ley de (Daniel) Bernoulli", la que básicamente expresa la conservación de energía de un elemento de fluido. Es la Ley de Bernoulli que se usa para mostrar, al menos cualitativamente porque vuelan los aviones, o porqué cuando damos el agua de la ducha la cortina se va hacia dentro de la tina. Además de hacer desarrollos notables en Hidrodinámica, Daniel Bernoulli trabajo intensamente en la Teoría de Probabilidades, en particular cálculos de probabilidades en torno a distintos juegos de naipe. Es por su interés en probabilidades que Daniel hizo la primera contribución física a la idea de los átomos. El se imagino a los átomos como pequeñas esferas (duras, todas iguales, perfectamente elásticas) que se mueven al azar

en el recipiente que ellos ocupan. Luego quiso relacionar conceptos del mundo mecánico microscópico con conceptos macroscópicos como presión y temperatura. El propuso la idea que la temperatura de un gas expresa de algún modo el promedio de la energía cinética (energía de movimiento) de los átomos. Al mismo tiempo, introdujo la idea que la presión que hace el gas sobre las paredes del recipiente que lo contiene está relacionada con el incesante golpeteo de los átomos contra las paredes. Así, la presión es un promedio del intercambio de momentum de los átomos con las paredes del recipiente. Una vez provisto de esta idea, Bernoulli uso sus leyes de probabilidades para calcular los promedios de los movimientos de los átomos constituyentes del gas, y pudo derivar, a partir de su modelo la relación de Boyle-Mariotte.

El lector podrá imaginar el enorme impacto que tuvo este resultado de Daniel Bernoulli. Fue la primera comprobación física de una idea simple del comportamiento de los átomos. En los tres siglos siguientes hubo muchas otras ideas y sus consecuentes verificaciones experimentales. Estas vinieron de las más diversas disciplinas como la biología, la química, le electricidad el magnetismo, incluso de la fotografía. Podemos seguir esta historia desde varios puntos de vista, pero acá lo haremos en forma secuencial siguiendo los tiempos históricos más que clasificar las contribuciones de acuerdo a sus aspectos disciplinarios.

Nuestro segundo personaje es holandés, Jan Ingenhousz que no es conocido como se debiera. Jan Ingenhousz era médico de profesión, pero tenía un gran interés por las ciencias naturales. Entre muchas cosas, Jan Ingenhousz hizo dos descubrimientos notables, los que por distintas razones fueron cruciales para nuestro entendimiento de los átomos. Ingenhousz, junto al inglés Joseph Priestley escribió uno de los ensayos más notables de la ciencia moderna: "Experiments upon Vegetables, Discovering their great Power of purifying the Common Air in the Sun-shine, and of Injuring it in the Shade and at Night. to which is joined, A new Method of examining the accurate Degree of Salubrity of the Atmosphere" (publicado en Londres, en 1779), dando a conocer el descubrimiento de la fotosíntesis. Es un poco lamentable que cuando aprendemos sobre la fotosíntesis, en el colegio, no se nos mencione a estos grandes responsables de su descubrimiento. Ingenhousz y Priestley se dieron cuenta que las plantas durante el día producían un nuevo elemento químico. Fue Lavoisier el que bautizó a este elemento

químico como “oxígeno”. Las plantas durante el día absorben el anhídrido carbónico, de la atmósfera, liberando oxígeno, proceso que se revierte durante la noche. Lavoisier, no solo introdujo este nuevo elemento químico, sino que además introdujo por primera vez la idea de “elemento químico”, introdujo la idea de conservación de masa en las reacciones químicas y es justamente considerado el fundador de la química moderna. El cuadro de Lavoisier junto a su señora, en su gabinete de química es una de las pinturas más famosas de Jacques Louis David, el famoso pintor de Napoleón y de su época. Lavoisier no tuvo mucha suerte. Fue una de las tantas víctimas de la guillotina. La otra gran contribución de Ingenhousz a nuestra historia de los átomos fue un descubrimiento que se adelantó por mucho a su época: “El movimiento Browniano” que revisaremos un poco más adelante y que tuvo consecuencias insospechadas al iniciarse el siglo XX. Un poco de paciencia, ya llegaremos a ese capítulo de nuestra historia.

Al iniciarse el siglo XIX se produjo una plétora de descubrimientos en distintos ámbitos. Empecemos con John Dalton. En 1809, un año antes de nuestra independencia, escribió un libro fundamental, que sentó las bases de la química moderna. Imitando al uso introducido por Galileo casi doscientos años antes, llamó a su libro “New System of Chemical Philosophy”. En el propuso las siguientes reglas de química, que ahora nos son muy familiares, y las cuales son relevantes a nuestra comprensión de los átomos: i) *Los elementos químicos están hechos de átomos*, ii) *Los átomos de un elemento tienen masas idénticas* iii) *Los átomos de elementos distintos tienen masas distintas* iv) *Los átomos solo se combinan de acuerdo a cocientes simples de números enteros tales como 1:1, 1:2, 2:3, etc.* Si para Bernoulli lo que importaba de los átomos eran sus propiedades mecánicas, con Dalton y la química moderna lo que importa es cómo estos se combinan para formar distintos compuestos. Para que los átomos se combinen, se necesita algo más que simple mecánica; se necesita que tengan cierta estructura. En esa época no sabíamos sobre la estructura interna de los átomos y de sus electrones. Ahora sabemos que al combinarse los átomos para formar distintos compuestos necesitan intercambiar un número (entero) de electrones, y de ahí la última regla de Dalton. Pero para Dalton, éste fue un descubrimiento empírico. En 1811, hace precisamente doscientos años un físico italiano de Turín, Amadeo Avogadro (1776-1856) hizo un descubrimiento notable. El se dio cuenta que a presiones y temperaturas iguales, los gases tienen el



Entonces el físico danés Hans Christian Oersted hizo un descubrimiento notable. Al hacer circular una corriente por un circuito cerrado (básicamente cortocircuitando una pila) observó que esta corriente era capaz de desviar una brújula (una aguja imantada). En otras palabras esta corriente creaba un campo magnético. Desde aquel día de Marzo de 1820, la Electricidad y el Magnetismo empezaron a ser entendidos como dos manifestaciones distintas de una misma interacción. Este descubrimiento produjo el nacimiento de lo que hoy llamamos Electrodinámica: aparecieron rápidamente los primeros motores. El primer motor elemental fue inventado por Michael Faraday en 1821.

Ahora entra otro personaje importante en nuestra historia de los átomos: André Ampère. Ampère, a quién probablemente muchos conocen por la unidad de corriente eléctrica fue quizás el principal impulsor de la Electrodinámica. Luego del experimento de Oersted, Ampère quiso entender cómo funcionan los imanes permanentes. Un imán permanente no parece tener ninguna corriente eléctrica asociada a él. De hecho se ve por fuera simplemente como un trozo de metal, un trozo de hierro. Como podemos entonces compatibilizar el hecho que un imán pueda crear un campo magnético y atraer piezas de hierro con el experimento de Oersted. Y es aquí que a Ampère se le ocurrió una simple explicación. Si uno se imagina que en el interior del imán hay pequeñas corrientes circulando (como si fueran pequeñas espiras de corriente) éstas, al igual que en el experimento de Oersted, crearían un campo magnético. Ahora si todas las corrientes (espiras) internas están ordenadas de modo que sus respectivos campos magnéticos se suman (y no se aniquilan unos con otros) tendremos justo la explicación deseada. El lector tiene que estar al tanto que en la época en que esto ocurría (década de los 20 en el siglo XIX), no se conocía para nada la estructura de los átomos. A estas corrientes internas se las conoce justamente como corrientes de Ampère. En el cuadro moderno, como lo entendemos ahora es fácil comprender estas corrientes de Ampère: nosotros ahora entendemos los átomos como compuestos de un núcleo muy pequeño, cargado y con masa, compuesto de protones y neutrones, y a su alrededor se mueven los electrones (partículas cargadas con igual carga pero de distinto signo que la carga de los protones). Es precisamente el movimiento de estos electrones cargados alrededor del núcleo el que da origen a las corrientes de Ampère.

Resumiendo, los descubrimientos de electricidad y magnetismo de principios del siglo XIX, fueron dando poco a poco una pauta para entender la estructura interna de los átomos, y el rol que juega la carga de sus constituyentes para entender distintos fenómenos. Por otra parte, la Química Moderna requería entender aún más la estructura interna de los átomos para poder entender como estos se asocian, cómo reaccionan para constituir compuestos. Pero aún quedaba una sorpresa increíble: la relación de los átomos y la luz.

Volvamos atrás en el tiempo, de regreso al siglo XVII. A principio de ese siglo, Galileo había descubierto los satélites de Júpiter. El estudio detallado de los eclipses de los satélites de Júpiter permitió a Olaf Roemer tener la primera medición de la velocidad de la luz. Este cálculo de Roemer atrajo la atención de los científicos contemporáneos, muy en particular de uno de los científicos más notables de todos los tiempos: Issac Newton (1642-1727).

Newton hizo muchas contribuciones notables en Física y Matemáticas. En su obra fundamental "Philosophiae Naturalis Principia Mathematica" (Principios matemáticos de la filosofía natural) publicado en 1687, estableció los fundamentos de la Mecánica. Esta fue una obra que atrajo inmediatamente la atención de la gente de ciencia y de la gente ilustrada de su época. Pero Newton tenía muchos intereses, y entre otros también tenía un interés por entender y explicar la naturaleza de la luz. Escribió un tratado de óptica en latín, donde empujó la idea que la luz está compuesta de partículas. Para Newton, la luz era un fenómeno corpuscular. Su contemporáneo, el físico holandés Christian Huygens, también escribió un tratado de la luz (esta vez en francés, para tener acceso a una audiencia más amplia), y en su tratado Huygens propuso que la naturaleza de la luz era ondulatoria. Así pues estos dos grandes científicos tenían ideas contrapuestas. Obviamente dada la fama de Newton, su tesis sobre la naturaleza corpuscular de la luz prevaleció hasta principios del siglo XIX.

Durante la primera década de ese siglo, William Young realizó experimentos de interferencia de la luz (hacer pasar un haz de luz por dos rendijas delgadas y próximas entre ellas) donde observó los ahora clásicos patrones de interferencia y de difracción. Estas observaciones empíricas pueden ser deducidas a partir de la Teoría Ondulatoria de Huygens, pero no de la Teoría Corpuscular de Newton. Pero en su tratado de óptica, Newton también expuso sobre la descomposición de la luz. Al hacer pasar luz blanca por un

prisma, la luz se descompone en un precioso arco iris. Este fenómeno de descomposición de la luz fue utilizado a principios del siglo XIX por William H. Wollaston (1766-1828) y Joseph von Fraunhofer (1787-1826) para determinar los espectros de luz de gases incandescentes. Ambos se dieron cuenta que los espectros de los gases incandescentes obtenidos al analizar la luz que proviene de ellos a través de un prisma es bastante peculiar. No se obtiene un continuo de frecuencias (como en el arcoiris) sino que líneas de frecuencia bien características. Esto dio lugar a toda una nueva disciplina en física, la espectroscopia, y mucha gente se dedicó a determinar los espectros de emisión de todo tipo de gases incandescentes. Es interesante destacar la contribución, en este punto, de uno de los nombres más famosos en la historia de la fotografía. Me refiero a William Fox Talbot (1800-1877) quién entre otras cosas inventó el “negativo” en el proceso de obtener fotografías (usado hasta el advenimiento de la fotografía digital).

En 1826, William Fox Talbot enunció la regla básica de la espectroscopia: “Cada elemento químico está caracterizado por su propio espectro”. Así por ejemplo, el hidrógeno, el helio, el sodio, el mercurio, etc., tienen sus espectros característicos (como el doblete amarillo característico del sodio, etc.). Esta regla básica de la espectroscopia permite determinar la composición de las estrellas, desde la Tierra. Basta analizar el espectro de la luz que emiten, para saber de que están compuestas.

Pero la espectroscopia, y más en general el estudio de la interacción de la luz con la materia tuvo un giro inesperado. Dio origen a una gran revolución científica a principios del siglo XX. Dos son los experimentos más notables que dieron origen a esta revolución: i) el efecto fotoeléctrico y ii) la radiación del cuerpo negro. En 1886, Heinrich Hertz (muy conocido por la comprobación experimental de las ondas electromagnéticas predichas por Maxwell) descubrió el llamado efecto fotoeléctrico: si uno hace incidir luz sobre una placa metálica puede liberar electrones y general una corriente eléctrica. Hertz observó que la energía de los electrones liberados era proporcional a la frecuencia de la luz. Así al hacer incidir luz azul sobre el metal se liberan electrones con más energía que si se hace incidir luz roja sobre el mismo.

Es el momento que entre uno de nuestros principales protagonistas a esta historia: Albert Einstein (1879-1955). En 1905 (llamado el “annus mirabilis”, por los tres grandes descubrimientos que hizo Einstein, entonces

terminando su doctorado en Zúrich), Einstein explicó las observaciones hechas por Hertz en torno al efecto fotoeléctrico, de paso cambió nuestra concepción de la luz y dio un paso gigantesco hacia la introducción de la mecánica cuántica. Hemos visto en los párrafos anteriores la controversia entre Newton y Huygens sobre la naturaleza de la luz, y cómo la idea de Newton prevaleció hasta principios del siglo XIX y finalmente sucumbió a la de Huygens luego de los experimentos de Young, Fraunhofer, y con el genial descubrimiento de Maxwell que los campos electromagnéticos obedecen una ecuación de onda. En 1905, Einstein entró en esta discusión: El propuso que la luz es bastante más compleja que lo que pensaban Newton o Huygens y que tiene ambos comportamientos. Como partícula tiene momentum y energía, como onda, tiene longitud de onda y frecuencia. Y la energía de las partículas que componen un haz de luz (que originalmente fueron bautizados como “cuantos de luz” y que hoy conocemos como “fotones”) es proporcional a su frecuencia, siendo la constante de proporcionalidad “h”, la constante introducida por Planck. Con esta suposición Einstein fue capaz de explicar completamente los experimentos de Hertz. Fue precisamente por su explicación del efecto fotoeléctrico que Einstein obtuvo el Premio Nobel de Física en 1921. En su explicación del efecto fotoeléctrico, inició una gran revolución en física, la que tendría un gran impacto en nuestro entendimiento de los átomos, y en el nacimiento posterior de la Mecánica Cuántica.

A fines de la primera década del siglo XX, Geiger y Marsden realizaron un experimento que resultó crucial para nuestro entendimiento de la estructura de los átomos. Bombardearon láminas delgadas de oro, con chorros de partículas alfa, es decir, con átomos de Helio doblemente ionizados (en otras palabras con núcleos de Helio). Geiger y Marsden determinaron experimentalmente las trayectorias de las partículas alfa después de incidir sobre los átomos de las láminas de helio. En 1911, el físico neozelandés Ernest Rutherford (1871-1937), quién había obtenido el Premio Nóbel de Química en 1908 por su estudio de las propiedades químicas de átomos radioactivos, interpretó los experimentos de Geiger y Marsden. Para ello imaginó que los átomos tienen un pequeño núcleo cargado positivamente y los electrones orbitando alrededor del núcleo (como hemos descrito más arriba), y utilizando conceptos de mecánica clásica (lo cual sabemos que es incorrecto, pero que por fortuna para este cálculo especial, producen el

mismo resultado que utilizando mecánica cuántica) pudo explicar, con su modelo (que ahora conocemos como el “átomo de Rutherford”) la desviación observada por Geiger y Marsden. Este éxito de Rutherford tuvo corta vida, pues pronto se dió cuenta que su modelo atómico no podía ser válido, no por lo menos en el contexto de mecánica clásica. En el contexto de mecánica clásica toda partícula acelerada irradia energía. Si pensamos a los electrones que orbitan alrededor del núcleo como partículas clásicas, estos irradiarían energía (en forma de ondas electromagnéticas, tal como lo hacen electrones que son acelerados en la antena de su celular). Al perder energía, los electrones entonces “caen” al núcleo. Así pues, el átomo de Rutherford es inestable. Aquí entra en escena otro de los grandes personajes de nuestra historia: el físico danés Niels Bohr.

Bohr, luego de terminar su doctorado viajó a Manchester (en Inglaterra) a trabajar con Rutherford. Consciente, por una parte del modelo atómico de Rutherford y por otra de las ideas de Einstein sobre el efecto fotoeléctrico, Niels Bohr propuso, en 1913, un nuevo modelo atómico, o mejor dicho inventó una mecánica adhoc, para resolver los problemas del átomo de Rutherford. Por una parte, cambió las reglas de la mecánica clásica y propuso que el momentum angular (cantidad de movimiento asociada al movimiento orbital de los electrones alrededor del núcleo) no puede asumir cualquier valor. Propuso que este momentum angular es un múltiplo entero de  $(h/2\pi)$ , i.e.,  $(nh/2\pi)$  en que está prohibido que  $n$  sea nulo. Con esta primera regla adhoc, Bohr pudo deducir que la energía de los electrones del átomo es proporcional a  $(-1/n^2)$ , en que  $n=1,2,..$  Luego introdujo una segunda regla adhoc: cuando un electrón pasa de un nivel de energía  $k$  (i.e., tiene energía proporcional a  $(-1/k^2)$ ), a un nivel de energía  $n$  (con  $n$  más pequeño que  $k$ ), emite un cuanto de luz (foton) cuya frecuencia  $f$  es tal que  $hf$  es igual a la energía que el electrón pierde al saltar del nivel  $k$  al nivel  $n$  (es decir, una energía proporcional a  $(1/k^2) - (1/n^2)$ ). Con estas dos hipótesis Bohr pudo deducir la regla empírica de Balmer, propuesta en 1885. Esto fue un éxito notable. Por fin se empezaba a dar una explicación simple a la gran cantidad de espectros obtenidos durante la segunda mitad del siglo XIX. Niels Bohr obtuvo el premio Nóbel de Física en 1922. Su descubrimiento dio origen a la llamada “vieja mecánica cuántica” (1913-1926). Durante los años que siguieron, muchos físicos usaron la teoría de Bohr

para calcular espectros de átomos más complejos, transiciones electrónicas y sus correspondientes emisiones.

Uno de los personajes más importantes de este período en nuestra historia fue Arnold Sommerfeld, quién calculó muchos de los espectros más complejos de esa época y se dio cuenta que si uno iba más allá del átomo de hidrógeno, la teoría de Bohr andaba mal con los experimentos. Hacia el inicio de la década del 20 las cosas iban peor. Aquí entra Louis de Broglie: es el año 1923 y está terminando su doctorado sobre la naturaleza y comportamiento de los electrones. Siguiendo el camino iniciado por Einstein en 1905, propone la idea que los electrones, que hasta ahora habían sido tratados como partículas en el contexto de la mecánica clásica, también tienen un comportamiento más complejo, y sugiere que podrían tener un comportamiento ondulatorio. A los miembros de su comité de tesis les parece una idea interesante, pero le preguntan cómo podrían verificar experimentalmente su hipótesis. El sugiere hacer experimentos de difracción con los electrones. En 1927, en los laboratorios de la Bell de EE.UU., los físicos Davisson y Germer realizaron el primer experimento de difracción de electrones por una red cristalina, y sus resultados fueron consistentes con la tesis de de Broglie. Más tarde, tanto de Broglie (1929) como Davisson y Germer (1937) obtuvieron el premio Nóbel de Física por sus descubrimientos. Si los electrones exhiben un comportamiento ondulatorio, deben satisfacer una ecuación de onda, del mismo modo que los campos electromagnéticos (la luz después de todo) satisfacen una ecuación de onda como lo demostró Maxwell en la segunda mitad del siglo XIX.

En Enero de 1926, un año antes de los experimentos de Davisson y Germer, el físico austriaco Erwin Schrödinger encontró la ecuación de onda para los electrones, la que lleva su nombre. Inmediatamente calculó los modos normales de vibración de los electrones sometidos a la atracción del núcleo en un átomo de hidrógeno (como quién calcula los modos normales de vibrar de una cuerda de guitarra). Y el resultado fue espectacular: reobtuvo el espectro de Bohr, y las series de Balmer, etc. Había nacido la nueva mecánica cuántica. Esta vez, usando la ecuación de Schrödinger los espectros de átomos y moléculas más complejos sí coincidían con los resultados experimentales. Fue un gran avance.

Pero todavía el puzle no estaba completo. En 1925, dos jóvenes físicos, George Uhlenbeck y Samuel Goudsmit propusieron la idea del spin del

electrón, como una manera de explicar las divergencias entre la teoría y los experimentos en torno al espectro de átomos en presencia de campos magnéticos. Esta sugerencia de Uhlenbeck y Goudsmit fue introducida de una manera adhoc, como en las hipótesis de Bohr de 1913. La historia del spin es fascinante y los hechos fueron ocurriendo en forma muy veloz. Resulta que la ecuación de Schrödinger no es compatible con la relatividad especial (la nueva mecánica introducida también por Einstein el “*annus mirabilis*”, en 1905, para explicar el comportamiento de las partículas que se mueven a grandes velocidades, comparables con la velocidad de la luz). Aquí entra uno de los últimos personajes de nuestra breve historia: Paul Dirac.

En 1928, Dirac encontró la ecuación de onda apropiada para describir el comportamiento de los electrones relativistas (es decir, que satisfacen los postulados de la relatividad especial). Lo interesante es que en la ecuación de Dirac, el spin aparece como un requerimiento necesario de las simetrías del problema. Esto justificó las hipótesis que habían sido introducidas adhoc por Uhlenbeck y Goudsmit. En 1925, poco antes de desaparecer la vieja mecánica cuántica de Bohr, y en el contexto de ésta, Wolfgang Pauli introdujo un Principio fundamental que es crucial para explicar los fenómenos de física atómica y molecular: hemos visto, en la teoría de Bohr que los electrones tenían un *momentum angular* cuantizado (es decir, rotulada por números enteros), una energía cuantizada, y también de acuerdo a la observación de Uhlenbeck y Goudsmit dos posibles valores de spin (incluso hay otro número cuantizado que es una de las componentes del *momentum angular*). En fin, cada electrón, al moverse en presencia del núcleo está en un “estado” caracterizado por varios números enteros, que en el lenguaje de física atómica se denominan números cuánticos. Wolfgang Pauli, en su artículo de 1925 formuló el siguiente principio: Cada estado puede ser ocupado solamente por un electrón. Este principio es fundamental para explicar toda la estructura atómica, y para explicar la tabla periódica de los elementos que todos aprendemos en el colegio y que fue introducida por Dimitri Mendeleev en 1869, tabla que en esa época solo fue introducida para explicar el comportamiento químico de los elementos (es decir, para explicar cómo se combinan los distintos átomos para formar compuestos). El hecho que con este simple principio Pauli pudiera explicar la Tabla Periódica de los elementos fue un tremendo éxito, y por esto obtuvo el Premio Nobel de

Física en 1945, el mismo año en que nuestra gran poetisa Gabriela Mistral obtuvo el Premio Nobel de Literatura.

Hay muchísimas otras facetas de esta historia que he dejado afuera, pero es tiempo de terminar. En una versión más extendida incluiré temas que he tenido que dejar de lado como la radiación del cuerpo negro, el movimiento browniano, la determinación del número de Avogadro por Perrin usando el movimiento browniano, la interacción de la materia y la luz, la invención del laser, y tantas y tantas otras facetas interesantes de esta historia.

Agradecimiento: agradezco a los editores de este libro la oportunidad de escribir este trabajo en honor a Lautaro Núñez, quién ha hecho tanto por nuestra historia y por nuestra cultura. Mi trabajo es financiado en parte por la Iniciativa Científica Milenio, proyecto P-07-027-F.