

Adrián Ramírez

De los modelos atómicos imaginables a lo inimaginable: *Rutherford y su influencia en la física cuántica contemporánea.*

Resumen

En 1911 Ernest Rutherford (1871-1937) publica los resultados de sus experimentos en la Universidad de Manchester, planteando el descubrimiento del núcleo atómico, descubrimiento que cambia nuestro modo de entender la materia, teniendo un gran impacto en la ciencia de la física y en la concepción general del mundo. El modelo atómico de Rutherford es indispensable para comprender la realidad, así como el posterior desarrollo en la física contemporánea, dando pie a la postulación de la física cuántica y a los problemas de índole epistemológica que esta conlleva. Se plantea aquí esa influencia desde un abordaje histórico y epistémico.¹

Palabras Clave: Ernest Rutherford. Modelos atómicos. Núcleo atómico. Física cuántica.. Werner Heisenberg.

Abstract

In 1911 Ernest Rutherford (1871-1937) published the results of their experiments at the University of Manchester, he proposed there the discovery of the atomic nucleus, a discovery that changed the way we understand matter, having a great impact on the physics science and in the general view of world. Rutherford's atomic model is essential for understanding reality and the further development of the contemporary physics, giving rise to the postulation of quantum physics and the epistemological problems that this entails. I argue here that influence from a historical and epistemological approach.

Keywords: Ernest Rutherford. Atomic models. Atomic nucleus. Quantum Physics.. Werner Heisenberg.

Si yo planteara la siguiente pregunta: ¿Cómo es un átomo? Posiblemente la gran mayoría se representaría mentalmente el modelo atómico de Rutherford. Quizás no los físicos o químicos o la gente de ciencia en general, pero si salimos a la calle y lo planteamos, es muy probable que sea esa representación la primera que se venga a la mente. Ahora, esto nos lleva a su vez a plantear dos preguntas, (a) ¿Cuál es el origen de esa representación y porqué es tan

importante? Y (b) ¿Es así realmente un átomo?

La respuesta a la primera pregunta nos lleva a 1911 (Aunque desde 1909 se inicia con la investigación y experimentación, la publicación del modelo y los resultados es de 1911, en *Philosophical Magazine*) a la ciudad de Manchester en Inglaterra, donde Ernest Rutherford trabaja en la universidad de esa ciudad. Ahora bien, se suele decir que el descubrimiento y creación del modelo a partir del núcleo atómico es el mayor aporte

que hizo Rutherford, así como su mayor logro, sin embargo, es mi parecer que el asunto tiene más implicaciones e influencia y no se puede reducir sólo a un momento en la historia de la física y menos a que su aporte termine ahí, aunque claro que es por lo que se lo suele recordar. Pero sin duda el mismo Rutherford, cuya vida no deja de ser llamativa, pero que es cuestión para tratar en otro momento, no nace tampoco en el vacío, o al menos no en el cultural, *v. gr.* la influencia de Becquerel y su amplio y laborioso equipo de trabajo, además que su medio es fulgurante en descubrimientos y merecidos premios Nobel, él mismo lo obtiene en 1908, aunque no en física, lo que no le deja de ser incómodo (1), pero su aporte individual es incalculable. Además de este aporte y otros, tanto directa como indirectamente, su labor como investigador es encomiable, así como abre la lucha entre lo que se suelen llamar los conservadores, es decir, los que se aferran a la mecánica clásica y los nuevos pensadores que plantean otros modos de interpretar y entender la realidad.

Ahora bien, el experimento de Rutherford es ya conocido por todos, pero podemos plantear una imagen para hacer más sencilla su comprensión, piénsese en un vaso con agua y desde la parte superior con una suerte

de aspersor dejamos caer más agua, el diámetro del aspersor es unas diez mil veces el del vaso con agua, entonces la mayoría de las gotas pasarán fuera del vaso y seguirán su trayectoria rectilínea, pero un muy pequeño número caerá en él y salpicará y otro pequeño número incidirá en el borde del vaso y se desviará. Es este el motivo de que Marsden (y Geiger (2)) no logra ver nada en el experimento, pero lo que se suele llamar el poder intuitivo de Rutherford lo hace repetirlo, hasta que en efecto se ve el muy pequeño número de partículas, como las pocas gotas de agua en el vaso, las cuales revotan en la lámina de oro, claro que estas no se ven, sino el destello de estas cuando chocan con la pantalla de sulfuro de zinc. La explicación de esto es que el vaso es la masa positiva en la que rebotan las gotas y el resto es vacío y por eso atraviesan sin que se logre percibir nada fuera de lo común. Pues en la imagen del vaso debemos pensar que no sólo no sabemos dónde está el vaso, sino que ni siquiera sabemos de su existencia más que como un postulado, así como no veríamos exactamente las gotas que rebotan, sino en este caso, los efectos del salpicar, como podría ser que mojen una fina hoja de papel colocada alrededor. El agua que cae es en este caso las partículas α , el vaso la lámina de oro

y el papel alrededor la pantalla con sulfuro de zinc.

Claro que aquí se da un momento vital para la ciencia tal y como la conocemos hoy, a saber la postulación y “descubrimiento” del núcleo atómico. Y no sólo es algo que atañe a la física, no al menos si la vemos desde una perspectiva reducida, sino que a la larga transformará por completo el modo de entender la materia y así todo lo que existe. Por otra parte, otro punto importante es el interés de Rutherford en proveer una explicación mecánica (la que se mantiene en ese momento es la de cuño newtoniano y el electromagnetismo maxwelliano) del funcionamiento del átomo, véase que se asimila al de los planetas que orbitan el sol, esto porque ya en este nivel la representación se hace difícil y se la trata de asimilar a un modelo ya conocido, lo que más adelante será uno de los puntos de quiebre con Heisenberg, esto como tratemos de adaptarla a la mecánica imperante, problema que abre las dificultades de esta y que llegará a su culminación con la postulación, no sólo de la necesidad de una nueva mecánica sino que también de una nueva matemática, hasta culminar con su principio de incertidumbre, tal y como se verá más adelante.

Se suelen plantear dos bandos en esta disputa por la explicación de cómo funcionan los átomos, uno que de la mano de los experimentos y modelo de Rutherford empiezan a cuestionar ésta mecánica imperante, que sin duda ve su mayor desarrollo con Niels Bohr y su discípulo Werner Heisenberg. En el otro, físicos de gran envergadura como Einstein y Schrödinger.

Ahora, partiendo del problema que plantea el modelo atómico de Rutherford y que será esbozado más adelante, a saber, la necesidad de que los átomos mueran casi instantáneamente, lleva a que se plantee una solución a esto, lo que nos lleva a la vez a dar respuesta a la segunda de las preguntas que se han planteado al inicio, y podemos decir de momento que esa respuesta es ¡no!, los átomos no son tal y como los representa el modelo de Rutherford ni, como asumamos lo que se ha planteado, como la mayoría se los representa mentalmente. Uno de los principales problemas de este modelo es precisamente lo que lo hace tan importante en el posterior desarrollo, pues no es otro que la radiación (la propagación de energía en forma de ondas electromagnéticas o partículas subatómicas a través del vacío o de un medio material) pues

si el electrón describe dicha trayectoria debería despedir radiación y así quedarse poco a poco sin energía y los átomos estarían destinados a morir, lo que claramente no ocurre, sino nada existiría tal y como existe ahora.

La relación entre Rutherford y Bohr es importante a la vez que interesante. Eran personalidades sumamente dispares, pero eso no mermó el hecho que sus trabajos se vieran nutridos por dicha relación. Bohr parte del modelo atómico de Rutherford una vez que este lo plantea y lo deja atrás para avanzar en otros campos. Pues para Bohr el problema sigue siendo importante y es así que trata de darle solución y de plantear un modelo alternativo que logre tanto salvar el problema de la radiación así como seguir siendo representable y que se atenga a los experimentos. Algo que sólo se ha mencionada pero que es importante es la necesidad de ajustarse a la mecánica imperante, pues eso limita en un momento lo que se puede hacer, y lleva a la necesidad de replantearla cuando no es suficiente para dichas explicaciones, lo que es desde el punto de vista de la filosofía de la ciencia de suma importancia, claro que también desde la ciencia en general, pero esa visión crítica debería asumirse desde ambos campos, pues

si la teoría que se tiene es insuficiente habrá que mejorarla o si no es del todo sostenible se deberá desechar, al menos para estos nuevos fenómenos a los que no es capaz de responder y se debe plantear una nueva. Este es en el fondo uno de los problemas que atraviesan la historia de los modelos atómicos. Ahora, en esta relación entre Rutherford y Bohr, dispar como se ha dicho, uno se inclina más hacia la experimentación y casi hacia un modo “intuitivo” y natural de hacer física, a saber, Rutherford, véase que su modelo surge de un modo u otro de esta manera así como su representación, que hemos visto ha calado fuerte en el imaginario cultural, es sencilla de asimilar, en el otro lado tenemos a Bohr quien se las ve mejor con la parte matemática de la física, así inicia con el uso de la cuántica para desarrollar su modelo. Sin embargo ambos saben que en este hacer ciencia la matemática no puede sino ser un instrumento, lo que se complejiza más con Heisenberg, tal y como se verá.

El modelo de Bohr parte de la radiación, de cómo esta puede penetrar la materia (3), y para esto le parece que “la mecánica y la electrodinámica clásicas no son suficientes” (Navarro, p. 215) y tan sólo un año después del modelo de Rutherford inicia a experimentar con los espectros (los

electromagnéticos, se entiende) y es aquí donde es importante que introduzcamos a otro gran científico que forma parte vital en este desarrollo, a saber, Max Planck (1858-1947).

Bohr introduce en su modelo el cuanto (4) de Planck (5) (quien es el fundador de la teoría cuántica) y logra así dar explicación a una serie de problemas, por ejemplo, si con el modelo de Rutherford los átomos no podrían sobrevivir en este sí, pues no hay órbitas, sino una suerte de escalones, así el núcleo estaría en la parte inferior del átomo y en los subsiguientes escalones los electrones.

Bohr envía el primero de sus trabajos (6) a Rutherford y si bien este le da un visto bueno por los avances que hace, le critica que sigue una contradicción de la teoría cuántica, a saber, si partimos de la idea según la cual los electrones funcionan cuánticamente y esto determina el espectro que despiden, ¿Qué determina cuál es la frecuencia de esa emisión? Esto es relativamente complejo, piénsese en la escala antes dicha donde el núcleo está en la parte inferior y los electrones se “mueven” pero a la vez son estables, dependiendo del movimiento de estos entre uno y otro escalón el espectro que les distinguirá, es decir, si uno se mueve dos

escalones emitirá determinado espectro, pero si se mueve cinco escalones, entonces será otro. Y si bien Bohr partía de la crítica del modelo de Rutherford y de su falta de “estabilidad”, lo cual le hace apartarse de la mecánica clásica. Ahora su modelo se ve en problemas.

En dicho modelo si se da tal estabilidad, pues si bien tiene “movimiento”. Bohr introduce la concepción de un núcleo compuesto y una órbita estable para los electrones, lo que da la mencionada estabilidad, así como se atiende a los espectros. E introduce el concepto de estados estacionarios (cada uno de los escalones antes mencionados) en estos “el paso de un estado estacionario a otro va acompañado de la emisión de radiación homogénea para la cual la relación entre la frecuencia y la cantidad de energía emitida es la que viene dada por la teoría de Planck” (Navarro, p. 219 (7)) Pero en este nivel el modelo de Bohr se mueve entre la mecánica clásica y la cuántica. Hasta aquí queda el modelo atómico de Bohr, sin, de momento, resolver la interrogante que le ha planteado el mismo Rutherford, ni los saltos cuánticos, usando dos teorías con relativa conveniencia para analizar diferentes “momentos” de la actividad atómica, así se dedica más bien al

estudio de la radiación, problema que como se ha visto traza la historia de los modelos atómicos desde su inicio.

Ahora, este modelo que parte del de Rutherford abre nuevos problemas que deben ser abordados, y es aquí donde entra el tercero y último de los planteamientos que aquí expondremos, a saber, el de Heisenberg.

Werner Heisenberg (1901-1976) es hoy recordado y estudiado con pasión por su planteamiento del principio de incertidumbre, a veces llamado de indeterminación u otros nombres, y es también una de esas propuestas científicas que se trasladan al imaginario social, muchas veces no de la mejor manera, pero aún así, tal y como Rutherford lo hace, las propuestas de Heisenberg van más allá de la física (8). Y se puede preguntar ahora: ¿Qué tiene que ver la teoría cuántica y el principio de incertidumbre con los modelos atómicos?

En la lucha antes mencionada por la explicación del funcionamiento atómico, queda aún sin resolver el problema de los saltos cuánticos, así como tiene problemas con los postulados de Schrödinger, y el punto de quiebre no sólo con las teorías que se venían planteando se da en este momento, sino que el quiebre con la representación a partir de un modelo del funcionamiento

atómico. En 1925 se plantea que la naturaleza del átomo no puede ser captada por un modelo, no se puede hacer una instantánea del átomo. Así se recurre a una “descripción” meramente matemática, pero recuérdese que ya para Bohr la mecánica clásica planteaba problemas, entonces su explicación necesita de una nueva mecánica, así como de un nuevo desarrollo matemático para poder dar cuenta de esa “incapturabilidad” de la naturaleza atómica, y la mecánica ondulatoria en el planteamiento de Schrödinger y su modelo atómico donde el electrón funciona como una onda estacionaria, así para este momento plantea, junto con la ayuda de Bohr, la mecánica de matrices. Pero con esto surge el problema de que la representación, ahora matemática, funciona en un mundo matemático, pero no en el físico, es decir, se usa sólo análogamente. En 1926 Heisenberg se presenta a la exposición de Schrödinger sobre su ecuación pero no logra sino salir derrotado. Pero es a partir de ahí que surge el impulso que lo lleva a plantearse ese mismo año, no sólo la dificultad de hacer la instantánea del átomo, o la complejidad matemática para dar explicación, sino que ve que existe un límite infranqueable. Piénsese que el átomo es una suerte de corredor

olímpico, como lo veamos desde un helicóptero podremos ver su posición pero no su velocidad, y como lo sigamos en un vehículo terrestre podremos medir su velocidad, pero no donde se encuentra. Es así que no podemos saber ambas a la vez, lo que ocurre con el electrón. Como sepamos su velocidad no podremos saber su posición y viceversa. Y es así que no sólo los modelos llegan a un límite de conocimiento, sino que nosotros y nuestro modo de comprender su naturaleza y funcionamiento llegamos a un límite de comprensión. Pero este límite no introduce necesariamente imposibilidad, sino perspectiva, como se analicen los átomos desde un punto, se podrían explicar desde Schrödinger, a saber, como onda, pero como se los mire de otro habrá que usar la matemática que plantea Heisenberg mismo. Así que no es que se desecha una de las explicaciones, sino que ambas y a la vez se sostienen desde diferentes perspectivas, y nace así la nueva mecánica cuántica, lo que introduce más bien problemas, y cambia el modo de ver la realidad así como el modo en que vemos ese hacer conocimiento sobre esa realidad.

Bibliografía.

- Devons, S. Rutherford and the Science of His Day. *Notes and Records of the Royal Society of London*, Vol. 45, No. 2 (Jul., 1991), pp. 221-242.
- Diéguez, Antonio. Realismo y antirrealismo en la discusión sobre la existencia de los átomos. *Philosophica Malacitana*. Vol. VII. (1995), pp. 49-65.
- Heilbron, J.L. (2003). *Ernest Rutherford and the explosion of the atoms*. New York: Oxford University Press.
- Law White, Lancelot. (1961). *Essay on Atomism: From democritus to 1960*. Connecticut: Wesleyan University.
- Massey, Harrie. Nuclear Physics Today and in Rutherford's Day. *Notes and Records of the Royal Society of London*, Vol. 27, No. 1 (Aug., 1972), pp. 25-44
- Mott, Nevill. Rutherford and Theory. *Notes and Records of the Royal Society of London*, Vol. 27, No. 1 (Aug., 1972), pp. 65-66.
- Navarro, Oscar. (2005) Los modelos atómicos: de J.J. Thomson a Niels Bohr. En: Alfaro, Mario y Vargas, Celso (Comp.) *Energía y tecnología nuclear: consideraciones éticas, sociales y ambientales*. Costa Rica: Editorial Tecnológica de CR.

Peierls, Rudolf. Rutherford and Bohr. *Notes and Records of the Royal Society of London*, Vol. 42, No. 2 (Jul., 1988), pp. 229-241.

Rutherford, Ernest. (1908). Nobel Lecture: The Chemical Nature of the Alpha Particles from Radioactive Substances. En: http://www.nobelprize.org/nobel_prizes/chemistry/laureates/1908/rutherford-lecture.html

NOTAS

¹ Es conocido el menosprecio que se sentía por la química y Rutherford no escapa a esto, el cual, dicho sea de paso, se mantiene hasta nuestros días, especialmente desde la física.

² Los dos asistentes de Rutherford que trabajaron arduamente en el experimento.

³ Véase Navarro, Oscar. *Los modelos atómicos: de J.J. Thomson a Niels Bohr*.

⁴ recuérdese que el cuanto es en sentido estricto una magnitud, pero es eso, tal y como se hablaba en el griego no de cualidades sino de los “como” o no de números o medidas sino que en efecto del “cuanto”, es en este sentido una cantidad, y está ligada con el cambio de estados discretos, es decir, no continuos, de la materia, es por eso que resulta tan importante para la física atómica, pues no sólo ayuda a explicar el funcionamiento

energético de los átomos, sino que sus combinaciones y cambios en los elementos químicos

⁵ Es en 1900 que Planck plantea la constante de acción h y la idea de parcelas discretas de energía,

⁶ Son tres trabajos sobre el modelo atómico y son conocidos como la Trilogía, esto porque así los llama Rosenfeld y aparecen tal y como el texto de Rutherford en la *Philosophical Magazine*, esto en 1913.

⁷ Si bien la cita aparece en el texto de Navarro al que se remite, las palabras son del mismo Bohr, en Bohr 1913: 7.

⁸ Como se ha dicho, la física no está, o no debería estar, aislada de la concepción de nosotros como humanos, es así que las explicaciones sobre los átomos u otros puntos siempre nos atañen, no sólo en tanto se explica o se trata de explicar el mundo en el que vivimos, sino que también en tanto nuestra propia constitución pasa por ahí, además de nuestro modo de entender la realidad.