

Radio Eslovaquia Internacional y la Teoría Atómica Moderna

Nuria Ruiz Morillas

Resumen: Este artículo es un ensayo de carácter divulgativo sobre la teoría atómica moderna. A partir del concepto de orbital, se presenta una analogía entre los números cuánticos correspondientes a los orbitales atómicos y la estructura arquitectónica en forma de pirámide invertida de Radio Eslovaquia Internacional.

Palabras clave: Teoría atómica, átomo, electrón, orbital atómico, números cuánticos.

Abstract: This article is an essay about the modern atomic theory. From the concept of orbital, an analogy is presented between the quantum numbers corresponding to the atomic orbitals and the architectural structure in the form of an inverted pyramid of Radio Slovakia International.

Keywords: Atomic theory, atom, electron, atomic orbital, quantum numbers.

El pasado verano tuve ocasión de viajar a Eslovaquia y apreciar en Bratislava la singularidad arquitectónica de la sede de Radio Eslovaquia Internacional, una unidad autónoma de la radio pública eslovaca. Se trataba de una pirámide invertida (Figura 1). El edificio había celebrado recientemente sus treinta años de antigüedad. Sinceramente, me sentí como un electrón que llegaba a su átomo y me pregunté si los arquitectos Štefan Ďurkovič, Barnabáš Kissling y Štefan Svetko crearon el proyecto inicial de este edificio pensando en el modelo atómico moderno. Os voy a explicar por qué.

Sabía que las teorías atómicas habían evolucionado y que el antiguo modelo de Bohr había dado paso a la moderna mecánica cuántica. Hacía años que había empezado una nueva era en la física y en la química, pero algunos conceptos aparentemente sencillos no eran tan fáciles de entender. Por ejemplo, no resultaba fácil explicar la distribución de los electrones en un átomo utilizando los términos “orbital”, “función de onda” o “probabilidad”. El edificio ante el que me encontraba podía ayudarme a explicarlo.

Me fui a una cafetería que había frente a Radio Eslovaquia Internacional, elegí una mesa con buenas vistas y



Figura 1. (Dominio público): Radio Eslovaquia Internacional

me planteé cómo explicarle a alguien dónde podría localizarme con más probabilidad si yo fuera un electrón en el interior de un átomo. Tomaría la estructura del edificio de Radio Eslovaquia Internacional como referencia.

Con las modificaciones realizadas sobre el modelo de Bohr, el electrón ya no estaba circunscrito a girar en órbitas alrededor del núcleo a longitudes fijas. Según Heisenberg, todo era mucho más incierto. Ya no era posible conocer con certeza la velocidad y la posición de un electrón de forma simultánea. Es como si al salir de paseo no pudieras saber al mismo tiempo lo rápido que vas y el sitio en el que estás. Puede parecer fácil pero la realidad es mucho más compleja. Schrödinger describió el comportamiento del electrón de un átomo de hidrógeno de tal forma que ya no utilizaba el concepto de órbita sino el de orbital. Los orbitales son soluciones matemáticas (funciones de onda) de la ecuación de Schrödinger. La función de onda no tiene significado físico pero el cuadrado de la función de onda es una magnitud relacionada con las probabilidades. No obstante, el electrón puede estar en cualquier sitio del universo y la ecuación de Schrödinger conduce a veces a



N. Ruiz Morillas

Universitat Rovira i Virgili
Departament de Química Física i Inorgànica
C/ Marcel·lí Domingo, 1, 43007-Tarragona
C. e.: nuria.ruizm@urv.cat

Recibido: 21/03/2018. Aceptado: 30/05/2018.

situaciones algo contraintuitivas. Para simplificar algo tan complejo, aunque los orbitales no son regiones físicas en el espacio, el electrón se describirá a través de un orbital y será habitual referirnos a él como que se encuentra en dicho orbital.^[1]

Se creó, pues, un sistema de identificación para el electrón. Era una especie de documento de identidad compuesto por una serie de números que daban información acerca del orbital en el que se encontraba. Se definieron cuatro números cuánticos: el número cuántico principal (n), el número cuántico del momento angular (l), el número cuántico magnético (m_l) y el número cuántico de espín (m_s).

¿Cómo se combinaban estos números? ¿Cualquier combinación era posible? Pues no, no todas las combinaciones eran válidas. La cosa se complicaba, pero la estructura arquitectónica de pirámide invertida del edificio que estaba observando me ayudaría a explicarlo, especialmente si pensaba en él como un edificio organizado en plantas, departamentos en cada planta y salas de trabajo en cada departamento.

Imaginemos que el núcleo del átomo se encuentra en el sótano de este edificio. El electrón puede estar en cualquier planta, pero no entre ellas. Si subiera por un ascensor, el electrón ganaría energía al subir y la perdería al bajar.

Bien, pues siguiendo esta estructura, vamos a dar sentido a los números cuánticos.

El número cuántico principal (n) solo puede tener un valor entero positivo, distinto de cero. Es lo que en el edificio sería el número de la planta, iniciando la numeración por la planta 1 y ascendiendo sucesivamente a la planta 2, planta 3, etc. (Figura 2). En un átomo, el valor de n está relacionado con la energía y con la distancia del electrón al núcleo. Cuanto mayor es el valor de n , mayor es la energía electrónica y más lejos está el electrón del núcleo. Lo mismo sucede en un edificio como el que hemos descrito. Si el núcleo está en el sótano y la energía aumenta al subir

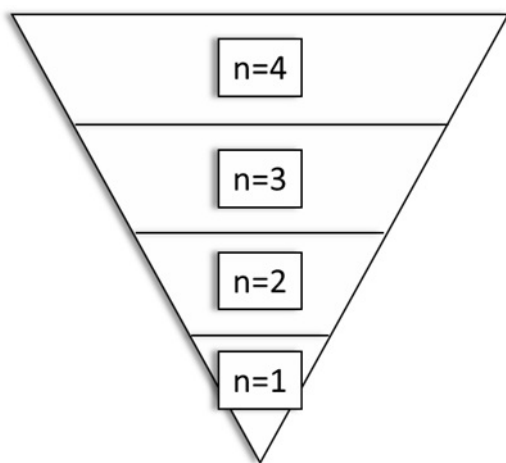


Figura 2. (Elaboración propia): Esquema de la distribución de los números cuánticos principales (n) según una pirámide invertida

por el ascensor, cuanto mayor es el número de la planta en la que se sitúa el electrón, más energía tiene y más alejado respecto al sótano (núcleo) se encuentra.

El número cuántico del momento angular (l) determina la subcapa, o la distribución angular del espacio en el que se puede encontrar el electrón. En otras palabras, el valor de l describe la forma tridimensional de la región del espacio que más probablemente ocupa el electrón. O lo que sería lo mismo, en el edificio, el número l determinaría las diferentes formas espaciales, de los departamentos de cada planta. El número y la forma de los departamentos estarían ligados a la planta en la que se han construido.

Para cierto valor de n , l podría adquirir todos los valores enteros posibles desde 0 hasta $(n-1)$. Así, para $n=1$ (planta 1), l solo podría tomar el valor 0. Es decir, en la primera planta habría un solo departamento, por ejemplo, un departamento de administración, de una forma espacial determinada. En la puerta colgaremos un cartel con el número 0.

Para $n=2$ (planta 2), l podría ser 0 o 1. Es decir, en la segunda planta encontraríamos dos departamentos de formas espaciales distintas. En la puerta de un departamento colgaremos un cartel con el número 0 y en la otra, un cartel con el número 1. Así, en la segunda planta habría otro departamento de administración, similar al de la primera planta y, además, por ejemplo, un departamento de edición de contenidos. Y así, sucesivamente. En definitiva, en un edificio que siguiera este modelo, habría tanta variedad de departamentos como indicara el número de la planta. El nombre dado a cada tipo de departamento sería independiente de la planta (n) en la que se encontrara. Solo dependería del valor de l . Es decir, los departamentos etiquetados con el mismo número serían similares, tendrían la misma forma espacial, aunque, a medida que subiéramos de planta, serían algo más grandes.

Dado que etiquetar los departamentos con un número resulta algo aburrido y además podría confundirse con el número de planta, vamos a ser originales y vamos a darles una letra. Así, dispondríamos de estudios tipo s ($l=0$), p ($l=1$), d ($l=2$) y f ($l=3$). Aunque el nombre de cada tipo de departamento parece un tanto caprichoso, tiene un sentido histórico. Las letras s , p , d responden a la calificación que los físicos dieron a una serie de líneas que detectaban en sus experimentos atómicos: sharp (finas), principales (intensas) y difusas. Después de la letra d , decidieron seguir el orden alfabético y asignaron la letra f (fundamental) a $l=3$. Seguiremos, pues, su propuesta y cambiaremos los números 0, 1, 2 y 3 de los departamentos por las letras s , p , d y f .

Así, los dos primeros números cuánticos nos determinarán la capa y la subcapa en la que se situaría el electrón y, en nuestro edificio, dichos números corresponderían a la planta y al tipo de departamento (Figura 3). Por ejemplo, en la puerta del departamento de administración de la primera planta ($n=1$, $l=0$) estaría colgado el cartel "1s". En la puerta del departamento de gestión de contenidos de la segunda planta ($n=2$, $l=1$), el cartel "2p". Con la misma lógica, se explicarían el resto de carteles.

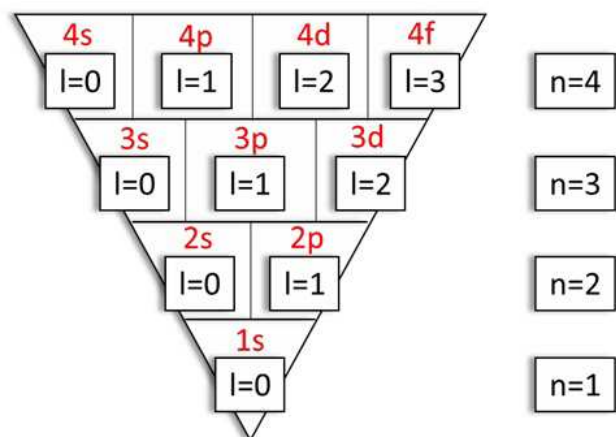


Figura 3. (Elaboración propia): Esquema de la distribución de los números cuánticos principales (n) y de los números cuánticos del momento angular (l) según una pirámide invertida

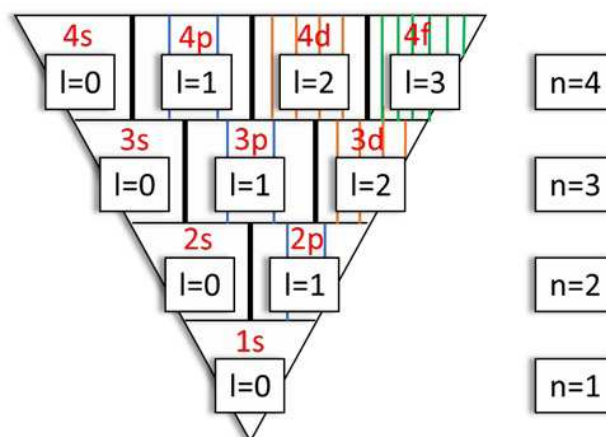


Figura 4. (Elaboración propia): Esquema de la distribución de los números cuánticos principales (n), de los números cuánticos del momento angular (l) y de los números cuánticos magnéticos (m) según una pirámide invertida

El número cuántico magnético (m_l) describe la orientación del orbital en el espacio. Así, en el edificio, una vez definida la planta (n) y el tipo de departamento (s , p , d o f), analizaríamos cuántas salas de trabajo puede tener cada uno de los departamentos. Si hay más de una, podrían diferenciarse entre ellas simplemente por su orientación o por alguna otra complejidad añadida. El valor del número cuántico magnético m_l dependerá del valor del número cuántico del momento angular (l).

Para cierto valor de l , ml puede tomar los valores comprendidos entre $+li$ $-l$. Por ejemplo, para $l=0$, ml solo puede tomar el valor 0. Así, en el edificio, los departamentos de tipo s ($l=0$), que habíamos asumido que eran los departamentos de administración, tendrían una única sala de trabajo. Para $l=1$, los valores de ml pueden ser -1 , 0 y $+1$. En el edificio, los departamentos del tipo p ($l=1$), que habíamos propuesto que serían departamentos de edición de contenidos, dispondrían de tres salas de trabajo que se diferenciarían por su orientación espacial. Siguiendo el mismo razonamiento, los departamentos del tipo d tendrían cinco salas de trabajo y los de tipo f , siete (Figura 4).

Ya tenemos definidos tres de los cuatro números cuánticos que identifican a un electrón. Estos tres primeros números describirían la región del espacio en la que más probablemente se situaría dicho electrón, es decir, su orbital. En el edificio, la combinación de los tres números nos permitiría seleccionar una de las salas de trabajo (si hay más de una) de uno de los departamentos (si hay más de uno) de una planta concreta.

Si añadimos que en cada orbital pueden alojarse un máximo de dos electrones, habrá que distinguirlos con un cuarto número cuántico, el número cuántico de espín (m_s). Este número muestra los dos posibles giros del electrón, uno en el sentido de las manecillas del reloj y el otro en el sentido contrario. Puede tomar dos valores: $+1/2$ o $-1/2$. Si trasladamos la situación a nuestro edificio, en cada sala de trabajo podría haber dos sillas giratorias de tal forma que cada una de ellas girara en un sentido distinto.

Teniendo en cuenta las restricciones presentadas, cada combinación permitida de los cuatro números cuánticos (principal, momento angular, magnético y de espín) identificaría al electrón y lo situaría en un orbital, es decir en una zona del espacio donde muy probablemente se alojaría dicho electrón. Además, le daría un sentido de giro.

¡Reto conseguido! La estructura de este edificio me sirve para explicar dónde se localizaría con más probabilidad un electrón en el interior de un átomo si dispongo de sus cuatro números cuánticos. En otras palabras, si solo hay una persona en el edificio, los cuatro números de su identificación me indicarán la zona del edificio donde más probablemente se encontrará.

Pero me surge una duda: ¿y si hay más gente? ¿Podría localizar a todas las personas siguiendo este modelo? Intentemos aproximarnos a esta situación compleja.

Para un átomo de un solo electrón (átomo hidrogenoide) como el que hemos descrito, el nivel de energía depende solo del número cuántico principal n . A medida que n aumenta (número de planta mayor), la energía aumenta. El electrón de un átomo de hidrógeno en estado fundamental se encuentra en el nivel de energía más bajo ($n=1$) pero en los estados excitados, el electrón ocupa orbitales con valores mayores de n . En otras palabras, es mejor quedarnos en la planta más baja, pero podríamos subir.

Para un átomo multielectrónico, la distribución final de los electrones (plantas, departamentos y salas de trabajo) también debe poder garantizar un valor mínimo de energía en su conjunto. Deberán irse llenando los orbitales de menor a mayor energía. No obstante, la situación no es tan simple como ir ocupando plantas (n) de forma ascendente porque en un átomo multielectrónico algunos niveles energéticos se alteran y el orden de ocupación de los orbitales por parte de los electrones puede cambiar. Necesitaríamos un modelo de edificio en el que la numeración de las plantas no correspondiera exactamente con la planaridad porque en algún caso se llenan primero orbitales con n superiores que tienen niveles de energía menores. Complicado, ¿verdad?

Además, existen dos condiciones adicionales: la regla de Hund y el principio de exclusión de Pauli.

Según la regla de Hund, en orbitales con la misma energía (n y l iguales), los electrones ocupan inicialmente estos orbitales de forma individual (m_l distinto) y después se aparean. Como consecuencia, un átomo tiene tantos electrones desapareados como le sea posible. En nuestro edificio, las salas de trabajo (m_l) de un mismo departamento (n y l iguales) tenderán a ocuparse inicialmente de forma individual. Es decir, solo se ocuparía una de las dos sillas de cada sala hasta que todas las salas estuvieran semillenas. A partir de ese momento, se empezarían a ocupar las otras sillas, llenando completamente cada una de las salas de un mismo departamento.

Por último, el principio de exclusión de Pauli impide que haya dos electrones de un mismo átomo con los cuatro números cuánticos iguales. Claro, en cada silla solo puede sentarse una persona.

Efectivamente, es mucho más difícil explicar la estructura electrónica de átomos multielectrónicos que describir

un electrón en un átomo sencillo, pero nos hemos aproximado bastante.

Concluyendo, si algún día vas a Radio Eslovaquia Internacional, dirígete al ascensor, marca el número cuántico principal (planta), y en función del número que hayas marcado, elige un número cuántico del momento angular (departamento) y a su vez, un número cuántico magnético (sala de trabajo). Finalmente, elige un número cuántico de espín (silla). Cuando hayas acabado, envía un mensaje de texto a un amigo con los cuatro números cuánticos según el formato (n, l, m_l, m_s). Puede que te encuentre. O puede que no.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] R. H. Petrucci, F. G. Herring, J. D. Madura, C. Bissonnette, *Química General*, Pearson Educación, Madrid, 10.^a edición, 2011, 324-342.

