

CONDUCTIVIDAD ELECTROLÍTICA Y GASEOSA Y LA CONSTITUCIÓN DEL CONCEPTO DE ION

Duván J*
Ayala, María M**

Departamento de Matemáticas Gimnasio Campestre*
Departamento de Física Universidad Pedagógica Nacional**

RESUMEN

Las consideraciones teóricas que se derivan de los resultados empíricos que tienen que ver con los procesos de la electrólisis determinan, según la visión de R. A. Millikan, la idea de "ion" como concepto base de la relación materia-electricidad. Esta idea de ion es igualmente utilizada por Millikan para dar cuenta de la conductividad de los gases. Se presenta aquí un análisis e interpretación de los argumentos que este autor expone al respecto en su texto "El Electrón" y se explicita la conceptualización lograda en torno a la idea de ion en momentos en los que la teoría electrónica de la materia está en gestación. Se derivan, por último, algunas implicaciones para la enseñanza de la Física.

Palabras Clave: Átomo, Ion.

SUMMARY

According to R. A. Millikan, theoretical considerations derived from electrolysis-related empirical results determine the idea of "ion" as a basis concept of the matter-electricity relationship. Millikan also uses this idea to inform about the conductivity of gases. The author's arguments regarding this concept, presented in his book "The Electron", are analyzed and interpreted here. The conceptualization around the idea of ion is constructed at the times of creation of the Matter Electronic Theory. Some implications arise for the teaching of Physics.

Key Word: Atom, Ion.

INTRODUCCIÓN

Los conceptos de átomo² y de ion son abordados a lo largo del proceso de enseñanza, tradicionalmente por las clases de ciencias. La construcción de estos conceptos es expuesta en el presente artículo bajo una perspectiva que le permite al lector por una parte, comprender una manera diferente de concebir al átomo y al ion, y por otra parte revisar los propios significados que se tienen sobre estos. Aquí el objetivo fundamental consiste en aportar nuevos caminos por medio de los cuales tanto el docente de ciencias como el estudiante (especialmente los que asumen la profundización en esta Área) comprendan y conceptualicen al átomo y al ion bajo una perspectiva de corte constructivista, que valida el origen de los significados en la experiencia sensible.

CONDUCCIÓN ELECTROLÍTICA

Al enunciar "la electrólisis" hacemos referencia al conjunto de experiencias en los procesos de descomposición de sustancias mediante el uso de la electricidad. Al respecto, Michael Faraday desarrolla un trabajo teórico y experimental del cual se resaltan en algunos textos contemporáneos los siguientes hechos empíricos: 1° La masa depositada en cada electrodo es directamente proporcional a la cantidad de electricidad que ha circulado por el electrolito y, 2° La misma cantidad de electricidad que separa un gramo de Hidrógeno, también separa un peso equivalente de cualquier otro elemento.

Sin embargo, las explicaciones desarrolladas por Faraday no necesariamente lo condujeron a establecer algún tipo de discretización de la materia o de la electricidad. En ellas se pone de manifiesto su convicción en la unidad de las fuerzas y la consiguiente relación entre la "afinidad química" y la fuerza eléctrica, aspectos centrales en su teoría de campos. Tal explicación no fue la única, pues el mismo Faraday hizo un estudio sobre las interpretaciones que a este respecto elaboraron contemporáneos suyos, de lo cual se resalta cómo la concepción discreta de la electricidad, que pudiera dar sentido al concepto de ion, no es tan obvia, sino que depende de las concepciones de materia y de electricidad que entran en juego en la organización de dichos datos empíricos.

Así, el hecho empírico de que la cantidad de electricidad necesaria para depositar un gramo de Hidrógeno (H) también deposite exactamente 107,5 gr. de Plata, siendo el peso atómico de la Plata 107,5 veces el peso atómico de H, sugiere que el átomo de Ag. y el átomo de H. se asocian en las soluciones a la misma cantidad de electricidad; conclusión ésta que se puede hacer extensiva a todos los átomos monovalentes (aquellos cuyo poder de combinación es el mismo que el del átomo de Hidrógeno). Además, como a partir de los datos empíricos también se puede establecer que los átomos bivalentes se hallan asociados al doble de esta cantidad de electricidad y así sucesivamente para elementos n-valentes, es posible considerar una proporcionalidad directa entre la Valencia y la cantidad de electricidad asociada al átomo.

mo en cuestión. Y es, precisamente, por el manejo de esta perspectiva de análisis que Millikan plantea la segunda ley de Faraday de ésta manera: "Cuando, en un tiempo dado, una corriente dada atraviesa en serie, soluciones que contienen diferentes elementos monovalentes (como H., Ag., y K.) deposita pesos de esas sustancias exactamente proporcionales a sus pesos atómicos respectivos"¹.

El resultado más importante de este fenómeno de electrólisis, para Millikan, es que la electricidad se halla dividida en porciones definidas elementales o, en otras palabras, que la electricidad tiene un carácter discreto: una cantidad dada de electricidad, y siempre la misma, está asociada con un átomo de cada una de dichos elementos monovalentes. Y esta cantidad de electricidad es una unidad elemental de electricidad en cuanto la cantidad de electricidad que se puede asociar a cualquier átomo, en el proceso de electrólisis es un múltiplo entero de dicha cantidad; múltiplo que se corresponde con la Valencia del elemento.

De todo esto se puede establecer que las características del proceso de disociación electrolítica, como lo relata Stoney¹, revelan que tales particiones se conforman como resultado de las uniones químicas que desaparecen. Stoney G. Johnstone en una comunicación que se titula "Sobre las unidades físicas de la naturaleza" (1874) destaca en los siguientes términos éste carácter discreto de la electricidad que se podría inferir del fenómeno de la electrólisis: "Finalmente la naturaleza nos ofrece una cantidad definida de electricidad independiente de los cuerpos particulares en los que actúa. Para aclarar esto, expresaré la Ley de Faraday en los siguientes términos, la que, como demostraré, lo hará con precisión a saber: por cada unión química que desaparece en un electrolito, una cierta cantidad de electricidad la atraviesa, y esta es la misma en todos los casos..."¹ La idea de que hay una misma cantidad de electricidad que, en todos los casos, se encuentra asociada a cada unión química que desaparece, sugiere entonces la configuración de una relación materia-electricidad en términos necesariamente discretos, de particiones de masa que para su determinación han de asociarse con una cantidad de electricidad determinada, siempre la misma.

Esta relación conforma al **ion electrolítico**. Y si bien, los experimentos sobre la electrólisis no aportan un conocimiento sobre la cantidad de electricidad q que lleva un ion, si provee una información exacta sobre la relación entre la carga iónica y la masa del átomo con la que está asociada en una solución dada; relación que identifica al **ion**. De este modo q/m varía en la electrólisis de ion a ion siendo q igual a la unidad elemental de electricidad e para los iones monovalentes y nq para los iones n -valentes, donde n puede ser 2,3,4 o 5.

Si bien la relación q/m depende de la naturaleza del ion hay una cantidad que se puede deducir de ella, que es una constante universal: Ne , donde e representa la unidad ele-

mental de carga y N es el Número de Avogadro (número de moléculas contenidas en una molécula - gramo). Para ello Millikan establece un caso patrón, es decir un caso en el que se tenga un átomo monovalente y una cantidad de electricidad " e ". Este átomo es llamado por Millikan como "imaginario monovalente" donde su masa también tendría que ser una masa patrón (m): $1/\text{Peso Atómico de cualquier elemento monovalente}$; de modo que $Nm = 1$ gramo. Teniendo en cuenta este dato, Millikan encuentra el valor de Ne . Lo que le permite concluir: "De este modo, aún cuando los hechos de la electrólisis no nos proporcionen ninguna información respecto a que cantidad de carga representa un electrón " e ", nos dicen con gran exactitud que si tomamos " e " tantas veces como moléculas hay en una molécula gramo, obtendremos exactamente 9.649,4 unidades electromagnéticas internacionales de electricidad"¹

De otra parte, desde ésta perspectiva, los pesos depositados de los elementos son exactamente proporcionales a los pesos atómicos y la relación entre la cantidad total de electricidad y el peso del depósito debe ser la misma que entre la carga de cada ión y la masa de este ión. Esto conduce a pensar que la corriente que pasa a través de una solución es llevada por los iones. Así, la corriente dentro de la solución es de masa y electricidad; y se explica la conductividad electrolítica en términos de la presencia de iones (entes cargados) y la conducción en términos de su movilidad. Pero, es importante notar aquí que a la base de esta imagen se encuentra el supuesto de que la masa y la extensión son propiedades identificadoras de los entes materiales: la masa o peso del átomo lo identifica y por ello éste es considerado como un **ente**; lo mismo ocurre con el **ion** aunque en este caso su carga eléctrica es también una característica identificadora.

CONDUCCIÓN EN GASES

Entre 1833 y 1900 la comunidad de físicos se encontraban en una situación muy particular cuando consideraban el pasaje de la electricidad a través de una solución, en la mayoría de los casos y siguiendo a Faraday, se imaginaban puntos definidos o átomos de electricidad moviéndose a través de la solución, cada átomo de materia llevando un múltiplo exacto que podría ser cualquiera, entre 1 y 8, de un átomo eléctrico elemental definido; en tanto que, cuando consideraban el pasaje de la corriente a través de un conductor metálico abandonaban por completo la hipótesis atómica y trataban de imaginarse al fenómeno como un continuo "deslizamiento" ó "ruptura de tensión en la sustancia del conductor..."¹.

Los fenómenos de conductividad en general han merecido posturas explicativas diferentes que se pueden agrupar de manera grossa en dos tipos de alternativas: 1°. entender el fenómeno desde una perspectiva de campos, en donde la conductividad se refiere a un estado particular de la sustancia que puede ser alterado y la conducción se entiende como un continuo "deslizamiento" o ruptura de "tensión" en la sus-

tancia del conductor; y 2o. entenderlo desde una perspectiva atómica (ionización), en donde la conductividad se interpreta como la presencia de partes cargadas de la sustancia o "puntos definidos o átomos de electricidad" en ella, y la conducción como la movilidad de las partes cargadas en la sustancia conductora.

Millikan asume la segunda de estas posturas, aún cuando allí no hay evidencia alguna (al contrario de la electrólisis) de transporte de materia, y plantea que la conductividad de los gases se hace "evidente" a partir de la relación radiación-materia, cuando, por ejemplo, un electroscopio se descarga por la "acción" de los rayos X; lo que induce a considerar que el gas contenido en el electroscopio se vuelve conductor. La conductividad del gas puede disminuir e incluso desaparecer por el desarrollo de ciertos procesos "sobre" el gas: 1° Si es filtrado haciéndolo pasar por lana de algodón, 2° Si es aspirado por un tubo metálico muy estrecho (difusión), y 3° Si se pasa por entre dos placas mantenidas a una diferencia de potencial suficientemente elevada. De esta manera la filtración y la difusión "dicen" que la conductividad del gas es debida a la presencia de "algo" que se puede eliminar por tales métodos y que éste "algo" tiene un carácter eléctrico.

El carácter "cosista" que adquiere la conductividad de los gases parece ser el primer elemento que establece la posibilidad de asimilarla a la conductividad electrolítica. Primero, porque se decide que es "algo" (referente a la materia), y luego porque se enfatiza en que éste "algo" tiene un "carácter eléctrico". Por ello el autor dedica especial atención a la comparación del ion electrolítico con el ion gaseoso en el siguiente sentido: *"Afortunadamente, la evidencia cuantitativa de la naturaleza electrolítica de la conducción en los gases no depende de ninguna manera del hecho de que una u otra teoría sea correcta en cuanto a la naturaleza del ion. Depende, sencillamente, de la comparación de los valores de "ne" obtenidos por las mediciones electrolíticas con los obtenidos por sustitución en la ecuación 3 de los valores medidos de V_0 y D para los iones gaseosos [$ne = (V_0/D)P$, $V_0 =$ movilidad de los iones, $D =$ coeficiente de difusión y $P =$ presión en el gas]"*¹.

Al comparar los resultados de las experiencias realizadas en este sentido, afirma que Townsend brinda excelentes pruebas cuantitativas de que *"1° la carga promedio transportada por los iones negativos de los gases ionizados es la misma que la carga promedio transportada por los iones monovalentes de las soluciones y que, 2° la carga promedio transportada por los iones positivos del gas es sensiblemente igual a la transportada por los iones negativos"*¹. Se consolida con esto, la concordancia entre los valores de "ne" en la electrólisis y en la conducción en gases.

Por otra parte debemos ahora resaltar que en la conductividad gaseosa, la **disociación** ha de entenderse como un proceso en el cual la concepción disyunta (inherente a la

electrólisis) en la relación materia electricidad se debe subvertir, ya que Millikan dice: *"Pero la ionización producida por los rayos X eran de una especie por completo diferente, pues era observable en gases puros, como el Nitrógeno o el Oxígeno, y aún en los gases monoatómicos como el Argón y el Helio. Era evidente entonces que el átomo neutro, aún de una sustancia monoatómica debe poseer cargas eléctricas pequeñas como componentes. Esto nos proporciona la primera evidencia directa de que: 1° Un átomo es una estructura compleja; y 2°, cargas eléctricas entran en su composición."*¹ A este respecto surgieron, nos dice Millikan, preguntas como las siguientes: "Cuál es la masa de los componentes de los átomos que los rayos X y agentes similares separan?, Cuáles son los valores de las cargas llevadas por esos componentes?, Cuántos son esos componentes?,Cuál es su tamaño, vale decir, qué volúmenes ocupan?, Cuáles son sus relaciones con la emisión y la absorción de las ondas luminosas y caloríficas, esto es, con la radiación electromagnética?, poseen todos los átomos componentes iguales?, En otras palabras, existe un subátomo primordial que entra en la formación de todos los átomos?"

Entonces, si la idea de **disociación** subyace a la de **ionización**, la conductividad de los gases entendida como ionización exige que la concepción de átomo como ente último desaparezca, y también, que el tratamiento dado a la relación materia- electricidad cambie, ya no se puede independizar de manera tajante la electricidad de la materia: él átomo "tiene" ahora partes materiales, con un carácter eléctrico; y la unidad elemental de electricidad, el electrón, como partes del átomo ha de ser concebida en tal sentido. Teniendo en cuenta investigaciones de los gases enrarecidos en la determinación del valor de la relación e/m para iones negativos y positivos, Millikan resalta que: 1°. la relación e/m es la misma para el portador negativo, cualquiera sea la naturaleza del gas residual, y su masa se infiere, es aproximadamente una milésima parte del átomo de H, lo cual era un indicio de que dentro del átomo existe una partícula con carga negativa cuyo valor de e/m es aproximadamente el obtenido para los rayos catódicos; 2°. el valor de e/m para los iones positivos "no es nunca mayor que su valor para el ion H. en la electrólisis, y varía para los diferentes gases residuales al igual de lo que sucede en la electrólisis"¹.

Por último, las consideraciones y resultados anteriores permiten poner de manifiesto la transformación que experimenta el concepto de ion resultante de la organización de la experiencia en torno a la electrólisis: *"la ionización de los gases parece consistir en el desprendimiento de un átomo neutro de una o muchas partículas cargadas negativamente..."*¹. *"El resto del átomo está evidentemente cargado positivamente y conserva la masa del átomo primitivo. Los corpúsculos producidos en esa separación se fijan luego, en un gas a la presión ordinaria, a un átomo neutro"*¹. Se llega de esta manera a la forma como suele ser presentada la ionización de los gases en los textos de Física.

Pero si bien los resultados pueden ser "los mismos", entender las condiciones en que se elaboran y constituyen los conceptos - en nuestro caso el concepto de ion- es decir, los supuestos que lo soportan, la experiencia a la cual se refiere y organiza y su inherente transformación, además de posibilitarnos elaborar una conceptualización a partir de la cual dar cuenta de la experiencia, permite asumir la ciencia como una actividad de organizar y construir experiencia sensible, donde el experimento no es "juez" que decide la validez de un planteamiento y la organización lograda pierde su carácter de realidad independiente del sujeto que conoce; ima-

gen ésta que manifiesta la necesidad de examinar los supuestos que animan las diferentes organizaciones de la experiencia que suelen ser enseñadas.

BIBLIOGRAFÍA

1. Millikan RA. "L Electrón". Pasadena 1924
2. Reyes D, Ayala M. "Discretización de la Actividad Química Y LA Idea De Atomo" Aproximación al
Estudio Experimental sobre el Origen de Los Rayos Cósmicos.
Tesis de Grado U.P.N. Facultad de Física 1998