



El Descubrimiento de la Radiactividad en el Camino Desde la Mecánica Newtoniana al Principio de Incertidumbre.

Claudia Uzal

Consejo de educación secundaria

Uruguay

claudiauzal@gmail.com

Maite Benvenuto

Consejo de Educación Secundaria

Uruguay

maitebenvenuto@gmail.com

RESUMEN

Es un hecho común que los cursos de ciencias del nivel de secundaria no suelen ir de la mano de las metaciencias sino que se trabajan los contenidos como algo “aséptico”, generando la creencia en los estudiantes de que los mismos vienen “dados” o que algún científico llegó a ellos porque era eso lo que precisamente estaba buscando aplicando un prolijo método científico. Este trabajo pretende reflexionar sobre la posibilidad de su inclusión en el trabajo de aula, para mejorar la enseñanza de la química, tomando como base de análisis, el descubrimiento de la radiactividad.

ABSTRACT

It is a common fact that science courses at the secondary level do not usually go together but metasciences of contents as "aseptic" is working, generating the belief in students that they are "given" or some scientist came to them because that was exactly what I was looking for a neat applying scientific method. This work aims to reflect on the possibility of inclusion in the classroom work to improve the teaching of chemistry, based on analysis, the discovery of radioactivity.

PALABRAS CLAVES: Concepción de ciencia, filosofía de las ciencias, cambio de paradigma, ciencia como construcción humana. Conceição da ciência, filosofia da ciência, mudança de paradigma, a ciência como uma construção humana. Conception of science, philosophy of science, paradigm shift, science as a human construct.

A LA BÚSQUEDA DEL POR QUÉ DE UNA HISTORIA, EPISTEMOLOGÍA Y SOCIOLOGÍA DE LA CIENCIA EN EL AULA DE QUÍMICA

¿Qué ciencia enseñamos los docentes? Esta interrogante y sus posibles respuestas es uno de los problemas que desde hace ya 20 años se encuentra en la agenda de la nueva didáctica de las ciencias experimentales, como puede constatarse en la bibliografía especializada y en las numerosas investigaciones que se han realizado y realizan al respecto. Esta cuestión tiene a su vez una contraparte, ¿qué ciencia aprenden los estudiantes? ¿Qué concepción de ciencia construyen los estudiantes a través de su escolarización?

La visión de la ciencia que tienen los estudiantes, incluso a nivel universitario y los docentes, dista muy poco de la que se podría obtener por simple impregnación social. Al respecto, Fernández y otros (2002) realizaron un estudio de las referencias a las visiones deformadas de ciencia que aparecen en la literatura, tomando como fuente artículos aparecidos entre 1990 y 2000 en revistas como Science Education, International Journal of Science Education, Journal of Research in



Science Teaching, Studies in Science Education, Science & Education, Enseñanza de las Ciencias, etc., así como trabajos recogidos en el *International Handbook of Science Education*, editado por Fraser y Tobin (1998) y en la recopilación de McComas (1998). Algunas de ellas son:

Concepción empiro-inductivista y ateórica. Se resalta el papel de la observación y la experimentación neutras, en el sentido que no están contaminadas por ninguna idea a priori, dejando a un lado el rol fundamental que cumple la formulación de hipótesis y las teorías en la orientación del proceso.

Concepción rígida y algorítmica de la ciencia. El método científico es asumido como un conjunto de pasos a seguir mecánicamente, que garantiza la fiabilidad de los resultados. Se valora el tratamiento cuantitativo y control riguroso, rechazando todo lo que implica creatividad, invención y duda.

Concepción aproblemática y ahistórica de la ciencia. Se transmiten los conocimientos y hechos ya elaborados, sin ahondar en los problemas que están en su origen y desarrollo y aún menos las dificultades y limitaciones del conocimiento científico actual.

Concepción exclusivamente analítica. Se enfatiza sobre la necesaria parcelación, acotamiento y simplificación en el abordaje de los problemas, olvidando los grandes esfuerzos que supone la posterior unificación en la construcción de cuerpos teóricos coherentes y cada vez más amplios.

Concepción meramente acumulativa del desarrollo científico. El desarrollo científico aparece como una acumulación lineal de conocimientos donde no se reconocen las crisis, remodelaciones ni confrontación entre teorías rivales, fruto de complejos y singulares procesos de cambio. Constituye una visión extremadamente simplista de la evolución y desarrollo del conocimiento científico.

Concepción individualista y elitista de la ciencia. El conocimiento científico se presenta como la obra de sujetos superdotados, aislados, ignorando el papel del trabajo colectivo y la comunicación entre equipos. El trabajo científico aparece como reservado a una minoría, en la inmensa mayoría de los casos masculina, lo que constituye una discriminación social y de género. Este elitismo se refuerza al ocultar el carácter de construcción humana de la ciencia y como tal, no exento de errores y contradicciones.

Visión descontextualizada y socialmente neutra de la actividad científica. Esta visión ingenua de raíz positivista, presenta la actividad científica como neutra y aséptica, ajena a los contingentes de lo social y producida por seres que se encuentran por encima del bien y del mal. Esta visión operativista se desprende de cualquier tipo de contextualización. Se ignoran o banalizan las complejas relaciones entre ciencia tecnología y sociedad, considerando a la ciencia como un producto neutro y a la vez que único motor del progreso, responsable único de la situación actual de deterioro del planeta. En esta visión participan activamente, construyéndola o haciéndose eco, los medios masivos de comunicación.

Es importante señalar que estas concepciones reseñadas no son independientes unas de otras, sino que constituyen un esquema conceptual integrado que muestra una imagen ingenua de la ciencia que tiene una gran aceptación social. Es así como la concepción de ciencia de los docentes, producto de la aceptación implícita y acrítica de esta visión común, reforzada por una educación científica donde los conocimientos son presentados como simples productos, dista muy poco de la que posee cualquier ciudadano y esta a la vez alejada de las concepciones actuales de la naturaleza de la ciencia.



En el mismo sentido, Gallego, A y Gallego, R (2007) señalan que “ha sido habitual mostrar las ciencias de la naturaleza como obra de personajes geniales e independientes de sus respectivos contextos sociales, culturales, políticos y económicos; es decir, los responsables de la formulación de los distintos modelos científicos son presentados en los sistemas educativos, sin mencionar siquiera las problemáticas que en su momento enfrentaba la comunidad de especialistas en la disciplina científica correspondiente; disciplina que tampoco es contextualizada cultural, social, política y económicamente. De esta manera la historia de cada una de las ciencias de la naturaleza, no emerge como necesaria para comprender los procesos internos y externos que condujeron a las formulaciones, aceptaciones, transformaciones y cambio de los modelos. Cuando de alguna manera se alude a la historia, ésta por lo general se reduce a una narración lineal y acumulativa de descubrimientos, acompañada por una sinopsis biográfica de esos genios, en la que se destacan los descubrimientos que llevaron a cabo. En este orden de ideas esa alusión está referida a un complemento, a una especie de agregado cultural, que poco o nada tiene que ver con la pregunta de cómo y por qué se formuló y admitió un modelo dado, entre todos los otros que para la misma época competían, con miras a ser aceptados como explicaciones válidas de la problemática epistemológica de ese entonces.”

Comienza a haber un consenso en que, para lograr la necesaria renovación en la enseñanza de las ciencias es fundamental prestar atención a las concepciones epistemológicas implícitas del docente, acortando la brecha que hasta ahora se ha presentado entre las innovaciones planteadas a través del currículo y lo que finalmente llevan a cabo los docentes y se plasma en el aula en la interacción con los estudiantes.

Muchos autores han investigado respecto a la concepción de ciencia de los docentes y como esta influye en su práctica. Estos estudios no son concluyentes, los aportes van desde el posible establecimiento de relaciones lineales hasta la comprensión de la complejidad de la relación entre ambos aspectos. Como plantea Lederman (1992) (apud Fernández y otros (2002)), los principales hallazgos de las investigaciones relacionadas con las concepciones sobre la naturaleza, el aprendizaje y la enseñanza de las ciencias de los docentes, informan que los maestros de ciencias poseen concepciones sobre la naturaleza de la ciencia, sea cual fuere el instrumento utilizado para su evaluación, que no pueden asociarse con alguna posición filosófica. Enfatizan poco en aspectos creativos, dilemas éticos y de construcción social que involucran la conformación de las disciplinas científicas que imparten. Las estrategias encaminadas a transformar estas concepciones han resultado exitosas sólo en los casos en que fue utilizado un enfoque con aspectos históricos y filosóficos de la ciencia, en contraste con aquellos que procuran el desarrollo de habilidades en la metodología científica.

Parece claro que si bien la concepción de ciencia de los estudiantes depende de numerosas fuentes (medios de comunicación, etc.), es en la escuela y liceo donde se producen los mayores aportes (en la enseñanza de las ciencias y las metaciencias) y es innegable que la concepción de ciencia que transmita el docente, explícita o implícitamente, contribuye a la concepción que de ella se hará el estudiante.

En función de lo expuesto, este trabajo plantea el abordaje de un contenido del currículo de química¹, donde sea posible en clase la discusión de las múltiples variables (históricas,

¹ En nuestro caso, nos referimos al programa de 2º año de bachillerato en Uruguay, donde en las sugerencias metodológicas se plantea “Tratar siempre que sea posible, cada aporte al conocimiento científico vinculado a su contexto histórico. Sin que signifique una toma de partido entre posturas enfrentadas, en el debate epistemológico se procurará presentar, a la Ciencia en general y a la Química en



epistemológicas y sociológicas) que confluyen en la producción y legitimación del conocimiento científico. El contenido curricular elegido es radiactividad, en el marco del estudio de la estructura atómica. Sobre éste, se trata de presentar a las ciencias como construcciones sociales e históricas, desnaturalizando la visión simplificada del conocimiento científico como producto ahistórico, acabado, neutral. El docente debe preocuparse muy especialmente por incluir relatos de procesos de investigación en la historia de las ciencias; mostrar la génesis de las categorías y constructos teóricos; indagar sobre los supuestos y los criterios aplicados en las clasificaciones científicas; presentar, para deconstruir, discursos científicos, así como pasajes de libros de textos de diferentes asignaturas, donde el conocimiento científico académico ha sufrido la transformación de la transposición didáctica. ... De otra manera la filosofía de la ciencia se vuelve discurso vacío, despojado de sentido para el estudiante, al que en ocasiones ni siquiera se le ayuda a percibir que están involucrados los saberes que circulan en otras asignaturas.”

Los autores han sido seleccionados en función de lo que cada uno ha representado para la epistemología o la sociología de las ciencias. En el caso de Kuhn, por ser quien introduce el hito externalista en su época con la “Estructura de las Revoluciones Científicas”; Bloor como sociólogo de la ciencia con una postura que es la expresión extrema de la posición externalista con su “programa fuerte”; y por último Dewey, por la importancia que éste le da a la selección de las operaciones en el proceso de conocer y por su idea de búsqueda de la certeza y no de búsqueda de la verdad.

EL LARGO CAMINO HACIA EL “DESCUBRIMIENTO”² DE LA RADIATIVIDAD.

Prygogine y Stengers en la “Nueva Alianza” (1999), plantean que la ciencia moderna comienza con Galileo y tiene su punto culmine con Newton. La física se constituye en el modelo de la Ciencia, cala profundo la idea de un protocolo de experiencia (método) matematizable, de que es posible aislar un hecho único central e irreducible de un conjunto, del cual todo puede ser deducido. Se renuncia a la explicación de ese principio, que en medicina es la fuerza vital y en química la afinidad. Se establece entonces, una alianza entre teoría y práctica en la manipulación y transformación, fundada en saberes de artesanos de la edad media. La naturaleza no puede resistirse al procedimiento experimental (sistemático) a través del cual sus misterios serán revelados, “... Galileo y sus sucesores piensan en la ciencia como capaz de descubrir la verdad global de la naturaleza.”.

La verdad está allí, sólo hay que descubrirla. Hay en las bases de la ciencia moderna una confianza ciega en el método científico, al que se concibe como único y en la racionalidad científica, donde la validez del conocimiento la da la sistematización en su búsqueda. Esta es la singularidad de la ciencia moderna: interpretar y comprender el mundo a la vez que modelarlo, transformarlo. Y esto, que constituye la originalidad de esta ciencia es a la vez lo que la encorseta y restringe, en este diálogo con la naturaleza a través de la práctica o experimentación, se habla con una naturaleza

particular, como una de las más grandes construcciones colectivas emprendidas por nuestra especie y por ello, profundamente humana y humanizadora.”. Se elige este nivel y esta unidad temática dado que permite un abordaje interdisciplinario con docentes de filosofía, donde el programa oficial incluye como unidad a desarrollar la filosofía de la ciencia. En este programa de filosofía se explicita que la filosofía de la ciencia “tiene un lugar especial, en tanto la investigación y el conocimiento calificado como científico adquieren, históricamente, estatuto hegemónico en el pensamiento occidental.

² Aquí nos referimos a “Descubrimiento” no como verdad que se encuentra en la naturaleza para ser revelada propio del paradigma positivista, sino haciendo énfasis en la “construcción” del objeto y su función, la de explicar los fenómenos observados. (Chen, 1996 apud Galagovsky, 2008)



parcial, simplificada en función de las hipótesis planteadas. No sería posible entonces, un conocimiento completo del mundo.

Los métodos de la Mecánica newtoniana se aplicaron con éxito a campos cada vez más amplios de la naturaleza, “descubriéndose” leyes de validez incondicionada en todo el Universo. Con ello, mediante la técnica, se logró aplicar las fuerzas de la naturaleza a los fines del hombre, permitiendo el desarrollo de la mecánica del siglo XVIII y de la óptica y teoría y técnica térmicas de principios del siglo XIX. Así surgió la imagen simple del Universo que daba el materialismo del siglo XIX. (Heisenberg, 1955) Esta visión de lo que es ciencia, cómo se hace y quienes la hacen, atravesó siglos en la historia, constituyó lo que Thomas Kuhn describe como un “paradigma” científico, que en este caso es el “paradigma mecanicista de la ciencia”.

A finales de la década de 1950 surge lo que luego se conocería como la nueva filosofía de la ciencia (Gaeta y Gentile, 1998), una concepción epistemológica alternativa que se construye, en alguna forma, en oposición o a partir de cuestionamientos a la concepción de la ciencia planteada por los positivistas del Círculo de Viena y compartida por otros epistemólogos. Contribuyen al corpus de esta visión alternativa autores como Toulmin, Hanson, Feyerabend y Kuhn, entre otros. Éstos niegan la existencia de una base empírica neutral, cuestionando en consecuencia la distinción entre términos teóricos y observacionales, la diferencia entre contexto de descubrimiento y justificación y al análisis lógico como método. Se dejan de lado los aspectos lógicos y se centra el interés en los factores históricos y sociológicos.

En la pensamiento de Kuhn quizá sea posible distinguir 3 etapas: la de la revolución, la de la posdata y la del camino que abarcan el planteo de posiciones en extremo novedosas y audaces (tal vez explicación del porqué del éxito y reconocimiento) y una paulatina moderación de sus tesis. El desarrollo de la ciencia como un proceso discontinuo no acumulativo, a saltos generados por la aparición de revoluciones científicas que modifican diametralmente el curso de la anterior investigación científica, son algunas de las ideas que estructuran su tesis epistemológica. Estas ideas están en relación a otros conceptos no menos importantes como lo son el de paradigma, ciencia normal, crisis e inconmensurabilidad y comunidad científica en tanto introduce los factores sociológicos. A su vez, este entramado conceptual encierra una concepción sobre la realidad, el mundo, la verdad y el progreso científico, que el autor desarrolla en varios de sus escritos.

El concepto de paradigma es uno de los más fuertes en la tesis de Kuhn y a la vez uno de los más ambiguos. Tal es así que se han encontrado más de 20 usos distintos para dicho término tan solo en el libro “La estructura de las revoluciones científicas”. Esto se incrementa aún, introduciendo muchas veces errores, si observamos como hoy el término paradigma ha trascendido lo estrictamente epistemológico y es utilizado a nivel cotidiano incluso por los alumnos (Masterman y Lakatos, apud Gaeta y Gentile, 1998).

Al comienzo del libro mencionado, Kuhn describe a los paradigmas como “realizaciones científicas universalmente reconocidas que, durante cierto tiempo, proporcionan modelos de problemas y soluciones a una comunidad científica.”. A excepción de lo que ocurre en los períodos extraordinarios, “... quienes se dedican a una especialidad científica madura adhieren profundamente a una manera de considerar e investigar la naturaleza que se basa en un paradigma. Su paradigma les dice qué tipo de entidades pueblan el Universo y el modo en que se comportan los miembros de esa población; además, les informa de las cuestiones que pueden plantearse legítimamente sobre la naturaleza y de la técnicas que pueden usarse apropiadamente en la



búsqueda de respuestas a dichas cuestiones.” Los paradigmas son una adquisición relativamente tardía en el curso del desarrollo científico, en una primera etapa a la que Kuhn denomina preparadigmática, una ciencia opera sin ellos, “esto es, hasta que se adquiere un primer paradigma, el desarrollo de la ciencia se parece al de las artes y la mayor parte de las ciencias sociales más de lo que se asemeja a la pauta que la astronomía, por ejemplo, ya había alcanzado en la Antigüedad y que hoy se conoce en todas las ciencias de la naturaleza.” (Kuhn, 1963). Se establece aquí, un claro criterio de demarcación entre lo que es ciencia y lo que no, quedando por fuera aquellas que no operan bajo la égida de “un paradigma”.

Sobre finales del siglo XIX y comienzo del siglo XX, plantea Bernal (1967) que las ciencias físicas conformadas por la física, la química, la geología y la astronomía, se han constituido como una unidad que queda garantizada por el enfoque primordialmente cuantitativo para el abordaje de los problemas, aunque en algunas disciplinas aún persistiera el abordaje cualitativo. Las ciencias físicas habían llegado a un punto en el cual los científicos, en especial los físicos, ya no esperaban grandes descubrimientos ni grandes cambios en el conocimiento alcanzado, sino nada más que lograr medidas más exactas y realizar algunos ajustes a lo ya conocido.

En más de un autor podemos encontrar referencias al hecho de que la construcción del conocimiento científico es en definitiva un fenómeno social. Podemos observar esto aunque planteado de modo diferente tanto en Kuhn como en Bloor más allá de las diferencias que sostienen sus posturas. Para Bloor (1998) los científicos deben compartir un propósito y un esquema de ideas, que supone ver al conocimiento científico como institución. Y el trabajo de éstos se verá necesariamente influenciado por factores como el desarrollo económico, técnico e industrial del momento y también por características culturales, no científicas, que afectan la creación y la evaluación de teorías y descubrimientos científicos. También destaca Bloor, la importancia de los procesos de entrenamiento y de socialización en la práctica científica, esto es, del modo que sean formados los científicos.

Kuhn expresa en “Los Paradigmas científicos” (1963): “La educación científica inculca lo que la comunidad científica conquistó anteriormente con dificultad: una profunda adhesión a un modo particular de contemplar el mundo y de practicar la ciencia en él. Esta adhesión puede ser reemplazada por otra de tanto en tanto, pero no puede ser meramente abandonada.” Al recibir un paradigma, la comunidad científica adhiere a la idea de que los problemas que se resuelvan dentro del mismo, lo serán de una vez y para siempre. En consecuencia, hay prácticamente una eliminación del debate sobre los fundamentos, estos se reducen a los ocasionales períodos de cambio. Esto es descripto por Kuhn como el dogmatismo científico.

Entonces, ¿qué es lo que resta por hacer a la comunidad científica que adhiere a un paradigma?: solucionar problemas, hacer al paradigma cada vez más preciso, mejorar la articulación entre el paradigma y la naturaleza, aplicarlo a nuevos campos, desarrollar nuevos instrumentos, mejorar técnicas: “En 1896 existían aproximadamente unas 50.000 personas dedicadas a la continuación de la tradición científica, de las cuales sólo unas 15.000 tenían a su cargo el progreso del saber por medio de la investigación. ...prácticamente la totalidad del universo científico se concentraba en Alemania, Inglaterra y Francia” (Bernal, 1967).

La segunda mitad del siglo XIX había producido grandes mejoras en muchos de los instrumentos para la investigación física, a partir de lo cual nació una nueva ciencia. En particular, se perfeccionó



la máquina neumática, haciendo posible que todo experimentador tuviese alto vacío a su disposición y se estudiaran los fenómenos de los gases bajo condiciones antes no imaginadas.

En noviembre de 1895 W. Roentgen que estudiaba el misterioso resplandor que salía del tubo de vacío al producirse una descarga eléctrica (luminiscencia), casi por accidente, “descubrió” algo invisible que era capaz de atravesar no sólo el cartón con el que cubrió el tubo en esa oportunidad sino también una puerta y hacer resplandecer ciertas sustancias. Estos misteriosos rayos fueron por él denominados como “rayos X”, también conocidos como rayos Roentgen en su honor. Estos rayos capaces de atravesar los vestidos, la piel y la carne y de proyectar sobre una placa fotográfica la sombra de los huesos, produjeron un gran desasosiego en el mundo victoriano de la época: por ejemplo en Londres, se anunciaba en la publicidad de un fabricante de ropa interior femenina, que la misma era resistente a los rayos X. Este descubrimiento le valió a Roentgen, con toda justicia el primer Premio Nobel en 1901.

Varios científicos al conocer la noticia, notaron que ya se habían cruzado con este fenómeno pero sin darle mayor importancia. Sin embargo estos rayos sí llamaron la atención de H. Becquerel, hijo de un célebre científico, que se encontraba estudiando un tipo de luminiscencia llamada fluorescencia. Los cuerpos fluorescentes resplandecían al exponerlos a la luz ultravioleta presente en la luz del sol. Bequerel se preguntó si la fluorescencia se relacionaba con los “rayos X”. En 1896 envolvió con papel negro una placa fotográfica, la colocó a la luz del sol y puso encima un cristal de una sustancia fluorescente (un compuesto de uranio). Al revelarla, observó que la película se había velado. La luz del sol no puede atravesar el papel, pero sí los rayos X, concluyendo así Bequerel que la sal de uranio emitía rayos X al fluoescer.

El cielo nublado por varios días hizo que Bequerel suspendiera sus experimentos. Por ansiedad o por aburrimiento, decidió revelar las películas que habían quedado guardadas en un cajón junto con los cristales y para su sorpresa encontró que las películas estaban veladas igual que si se hubiesen expuesto al sol. Creía haber descubierto un método para obtener rayos X sin tener que recurrir al complicado tubo de vacío de Crookes. Las sales de uranio emitían constantemente radiación y más penetrante que los rayos X. Los nuevos y misteriosos rayos del uranio eran capaces de atravesar la materia en forma espontánea sin necesidad de ningún aparato y a partir de sustancias aparentemente estables e inertes.

IRRUMPE LA RADIATIVIDAD. HACIA UNA NUEVA CONCEPCIÓN DE LA ESTRUCTURA DEL ÁTOMO.

Marie Sklodowska Curie, primera mujer científica de renombre, será quien en busca de un tema para su tesis de doctorado se interesará por el trabajo de Bequerel y denominará a este nuevo fenómeno como radiactividad. Polaca de nacimiento, Marie llegó a París con 22 años para poder estudiar en La Sorbona en el año 1891. En 1903 presentó su trabajo de tesis doctoral, que le significó el premio Nobel de física compartido con su marido Pierre Curie y Henri Bequerel.

Así como el perfeccionamiento del tubo de vacío hizo posible el descubrimiento de Roentgen, el de la radiactividad lo fue gracias al electrómetro diseñado por Pierre Curie y su hermano Jaques, basado en la pizelectricidad, que permitía medir muy pequeñas cantidades de corriente eléctrica. Marie utilizó el aparato para estudiar cuantitativamente la radiación del uranio y encontró que la cantidad de radiación siempre es proporcional al número de átomos de uranio, independientemente de cómo estén combinados con otros átomos. Es posible identificar aquí una



de las características de la ciencia moderna: cómo el desarrollo científico impulsa al desarrollo tecnológico, a la vez que los nuevos artefactos tecnológicos promueven la aparición de nuevos conocimientos científicos.

A esta altura Marie hacía apenas 6 años que había llegado a París, y viendo Pierre la potencialidad del trabajo de su esposa, se unió al de ella. El trabajo de los Curie fue realizado en terribles condiciones en un cobertizo medio derruido, con goteras y sin calefacción, directamente sobre el mineral, fraccionándolo y conservando las porciones que les interesaban. Cuatro años fueron necesarios para convertir una tonelada de pechblenda en un gramo de un polvillo blanco de radiaciones tan intensas que el recipiente en el que se encontraba resplandecía en la oscuridad.

En 1911 recibió Marie el premio Nobel de Química por el “descubrimiento” del polonio (denominado así en honor a su país de origen) y el radio. Pierre había fallecido en 1906 en un accidente con un carro de caballos por lo cual recibe este premio sola. Por más de 50 años, no hubo nadie, hombre o mujer que recibiera tal reconocimiento por segunda vez. Marie muere en 1934 de leucemia, seguramente causada por la exposición a la radiactividad.

Algunos historiadores de la ciencia ubican a Marie Curie como integrante de la comunidad científica de los físicos, ya que su padre era físico, su primer premio Nobel fue el de Física y fue profesora de Física en la Sorbona. Pero encontramos en Bernardette Bensaude-Vincent e Isabella Stengers, clara justificación sobre la naturaleza química del trabajo de Marie Curie: “El programa de trabajo de Marie y de Pierre Curie pertenece a la Química. Sin duda, el electrómetro, inventado antes por Pierre Curie y que la pareja utilizaba para medir la intensidad de la radiación, pertenece a la física moderna, pero sólo es un instrumento: permite cuantificar el fenómeno por una propiedad, el hecho de que los rayos uránicos, como los rayos X, convierten el aire en conductor eléctrico. Lo esencial es la purificación y la promesa de una explosión demográfica de los elementos semejante a la que había dado lugar el uso de la pila eléctrica.” (Bensaude-Vincent, B., Stengers, I., 1997: 189). Roentgen y Bequerel iniciaron con sus “descubrimientos” una nueva revolución científica, semejante a la de Copérnico en 1500. Cuando un científico investiga en el período de ciencia normal, lo que Kuhn desataca como una ventaja de la investigación basada en paradigmas, puede que se encuentre, como le ocurrió a Roentgen, con un fenómeno que sabe que no debe ocurrir, uno totalmente nuevo que no podía ser previsto por el paradigma, que no encaja en él. La actividad normal de solución de problemas si fuera siempre exitosa no permitiría nunca las innovaciones fundamentales. De hecho conduce, inevitablemente, al reconocimiento de anomalías. Un fracaso en la solución de problemas, la no adecuación de las reglas de juego preestablecidas, es el preámbulo a una innovación científica importante.

Las anomalías juegan también un papel relevante en la invención de nuevas teorías. Éstas se crean para explicar observaciones que fueron engendradas por la propia teoría paradigmática que las considera relevantes y pasibles de adecuación. Pero cuando la anomalía persiste y resiste a los ajustes buscados en el paradigma, que muchas veces implican reformulaciones más profundas y fundamentales de las que se admitían en un principio, una parte de la comunidad reconoce que hay algo esencialmente erróneo sobre lo que están basando su investigación y sobreviene la crisis. “Es característico de esta etapa la coexistencia de numerosas versiones diferentes de la teoría paradigmática” Y si un científico fracasa no puede dudar de las reglas de su paradigma, aquellas que internalizó a través de su educación y carrera profesional, debe poner en tela de juicio su habilidad. Como dice Kuhn “Este es uno de los modos como la ciencia avanza.” Cuando la comunidad científica se resiste al cambio, “...lo que defienden, al fin de cuentas, es nada más y nada menos



que su modo de vida profesional” (Kuhn, 1963). Hay por esto, en principio una natural resistencia al cambio, pero cuando el paradigma ya no puede ser sostenido y comienza a ser reemplazado por otro, la adopción de este nuevo paradigma no puede explicarse en función de argumentos lógicos, sino más bien psicológicos y sociológicos. Es al fin la elección de otra forma de ver el mundo, de estructurar la realidad de la comunidad científica, que es incompatible para Kuhn con la anterior.

La inconmensurabilidad de los paradigmas es una de las tesis más controvertidas y criticadas del planteo de Kuhn y peca, al igual que el concepto de paradigma, de poco claro. Esta inconmensurabilidad está dada por un problema de comunicación entre paradigmas rivales, donde si bien hay una incorporación de recursos conceptuales o físicos por parte del nuevo paradigma, éstos no son utilizados con el mismo sentido que en el paradigma anterior, o establecen nuevas y diferentes relaciones entre sí, que imposibilitarían la comunicación entre paradigmas.

Si bien la admisión de un paradigma ha quedado demostrada históricamente, para Kuhn, como un requisito necesario para la eficacia de la empresa científica, éstos no son permanentes ni se requiere que lo sean, habitualmente no lo son. “... la pauta de desarrollo de la ciencia madura es, por lo común, pasar de un paradigma a otro.” (Kuhn, 1963). Y este esquema de descubrimiento por una anomalía, que a su vez promueve una revisión de las técnicas y creencias establecidas, se ha repetido y repite una y otra vez en el transcurso del desarrollo científico. Llegar a esta conclusión sólo es posible si se realiza un análisis histórico y contextualizado del desarrollo para la ciencia.

A partir del descubrimiento del Radio se vienen abajo todas las concepciones defendidas hasta ese momento sobre la conservación de la materia y de la energía. La radiactividad muestra que el átomo se puede descomponer y por lo tanto no es indivisible, y que las fuerzas que lo mantienen unido son de naturaleza electromagnética. Esto constituyó un gran golpe a la física y la química del siglo XIX. El trabajo de grandes químicos como Lavoisier había impuesto la inmutabilidad de los elementos y de pronto algo decía que la materia no solo puede cambiar sino que lo hace por sí misma sin necesidad de estímulo externo alguno. El sueño de los alquimistas de la transmutación de los elementos aparecía como posible. El descubrimiento de la radiactividad también demostró que el átomo contiene grandes cantidades de energía, mucha más que la utilizada hasta el momento proveniente de la combustión, en la que se basó la revolución industrial del siglo XIX.

LA MECÁNICA CUÁNTICA ESTADÍSTICA. INCERTIDUMBRE PARA EL MODELO ATÓMICO.

¿Qué es este fenómeno de la radiactividad? La principal dificultad consistía en que nadie sabía de dónde procedía esta gran cantidad de energía. En 1902, Rutherford y Soddy su ayudante, sugirieron la posibilidad de que la radiactividad consistiese en átomos que de forma espontánea se transformaban en otros diferentes. Este tipo de cambio era distinto a todo lo conocido hasta el momento. Los átomos se desintegraban y emitían partículas cargadas, dando origen a un nuevo sistema con masa y propiedades físicas y químicas diferentes. En otras palabras, los átomos no eran indestructibles. Naturalmente esta hipótesis dio origen a una fuerte oposición, ya que para las ideas predominantes en la época no podía concebirse el átomo como divisible.

Y más aún, los siguientes estudios de Rutherford y Soddy sobre la desintegración radiactiva sugirieron que el número de átomos que se desintegra radiactivamente durante cierto lapso de tiempo es una fracción determinada de los átomos existentes al principio y es una constante característica del cuerpo; pero ante unos cuantos átomos radiactivos, lo único que podemos



afirmar, es el número de ellos que se habrán desintegrado en un cierto tiempo, sin poder saber con seguridad cuáles de ellos son los que experimentarán el proceso. Esto constituyó un gran avance ya que hasta el momento se consideraba una herejía afirmar que un determinado proceso no podría predecirse con total certidumbre.

Ya desde Demócrito y Leucipo (siglo VI a.C.), el modo de pensamiento de la teoría atómica distinguió del determinismo de la mecánica newtoniana. Con la Edad Moderna no tardó en iniciarse el intento de explicar el comportamiento de la materia mediante el comportamiento estadístico de sus átomos, cualitativa y cuantitativamente, por ejemplo cuando se explican los fenómenos termodinámicos aceptando que los átomos se mueven con mayor velocidad en los cuerpos calientes que en los fríos: cuando se habla de la temperatura nos referimos al sistema en su totalidad estadísticamente sin poder conocer lo que efectivamente (“insuficiencia de conocimiento”) ocurre con cada partícula que constituye el mismo. Pero será a partir de la teoría cuántica, cuyas leyes ha sido preciso formular matemáticamente, que ha sido necesario abandonar el determinismo y el camino nos lleva más allá aún al introducir el principio de complementariedad de Bohr, por el cual para describir los sistemas atómicos es necesario recurrir a diferentes imágenes, que pueden parecer incompatibles unas con otras pero que son verdaderas cuando se las utiliza en el momento apropiado. (Heisenberg, 1955).

De este modo, a partir del “descubrimiento” de la radiactividad, la ciencia pasaría de una visión determinista, casi acabada de la naturaleza a otra postura para la que el conocimiento incompleto de un sistema es parte esencial. Así los científicos debieron necesariamente, al no poder resolver un problema, abandonar el paradigma al que habían desarrollado su adhesión (según Kuhn), o también podríamos decir que debieron apartarse del modo que fueron formados mediante procesos de entrenamiento y de socialización en la práctica científica que fueron dados bajo la influencia de los factores del momento, en este caso, la “imagen simple” del Universo que daba el materialismo del siglo XIX (según Bloor).

A partir del descubrimiento de la radiactividad el progreso científico se vio acelerado, mucho más que en cualquier otro período de la historia de la ciencia. Aproximadamente 60 años después las personas dedicadas a la actividad científica superaban el millón o 2 millones si se incluyen las personas que realizan tareas de administración, los educadores y trabajadores en general dentro de la industria. Esto fue acompañado por un incremento en la inversión que pasó a ser 400 veces mayor. No es posible, sin embargo, perder de vista que el 90% de esta inversión era destinada al desarrollo bélico principalmente. Esto da cuenta del cambio de relación entre la ciencia y los avances tecnológicos que la vinculan a la sociedad, característica de la época. También se observará la expansión geográfica por la incorporación a este desarrollo de países como Estados Unidos y la Unión Soviética principalmente pero además de otros países como India, Japón y China. (Bernal, 1969)

A partir de este punto, sucesivos trabajos: Plank y su teoría cuántica; Einstein y la noción de fotón; el descubrimiento del núcleo atómico positivo del átomo por parte del equipo de Rutherford (Geiger y Marsden), culminan en el modelo atómico de Rutherford-Bohr. Este concepto permitió interpretar las hasta entonces misteriosas leyes de la química: por qué unos elementos son metales y otros no y por qué otros son gases inertes y así fue cómo la Tabla Periódica de los elementos de Mendeléiev pudo ser explicada; así como pudo explicarse cómo diferentes elementos pueden combinarse y formar una molécula neutra o una sal por atracción eléctrica. Este gran progreso de la ciencia se vería enlentecido, por la primera guerra mundial.



CAMBIO DE VISIÓN

La filosofía mecanicista de la naturaleza se basa en el principio fundamental de que es posible determinar exactamente, al menos en principio, tanto la posición como la velocidad de cualquier cuerpo y si conocemos ambas cosas es posible calcular matemáticamente y predecir rigurosamente, lo que va a ocurrir. Pero esta doctrina de que la naturaleza es intrínsecamente racional resultó muy costosa, ya que ubicaba la razón del hombre como un espectador foráneo de una racionalidad ya completa por sí misma, despojaba al hombre de su rol activo y creador y su tarea se reducía simplemente a copiar. Esta doctrina fue una consecuencia de la separación tradicional entre conocimiento y acción y una causa de su perpetuación (Dewey, 1955).

Al considerar la influencia de los factores sociales en la práctica científica, es posible dividir la historia de las ciencias y también las corrientes epistemológicas en las que se posicionan desde una visión externalista o por el contrario internalista. Actualmente, sin tomar posturas extremas puede considerarse que sin duda no es posible desconocer la influencia de lo social sobre la práctica científica.

En el análisis de la bibliografía consultada para abordar este trabajo: los hechos que llevaron al descubrimiento de la radiactividad y sus repercusiones, se encontró que en la mayoría de los textos no hay referencia sobre la interna de las comunidades científicas en cada momento, ni a las disputas que seguramente deben haberse dado. También en los libros de texto que los programas recomiendan a los estudiantes, es posible detectar lo mismo, una visión ahistórica y descontextualizada, a lo sumo un recorte biográfico. Tampoco hay relatos que refieran a las innumerables discusiones que con seguridad deben haberse dado antes de poder reconocer y aceptar este punto de inflexión en la historia de la ciencia que la cambiaría tanto como para considerar desde la perspectiva de Kuhn, como el comienzo de una segunda revolución, como ya se mencionó antes, semejante a la de Copérnico. Como ejercicio se podría intentar imaginar, cómo sería a la interna de la comunidad científica fuertemente impregnada del paradigma mecanicista, aceptar que el átomo no se presentaba ya como algo indivisible.

El descubrimiento del fenómeno de la radiactividad no puede observarse como un hecho puntual, sino como el resultado de una serie de eventos anteriores y como la plataforma para llegar, posteriormente, a la formulación del modelo atómico de Rutherford-Bohr. Este proceso habría de comenzar con el descubrimiento de los rayos X o rayos Roentgen.

Bloor sostiene que la sociología de la ciencia debe ocuparse entre otros aspectos de ver cuáles son los procesos que contribuyen a la creación y mantenimiento del conocimiento, observando que sí existe relación entre el desarrollo económico, técnico e industrial y el contenido de las teorías científicas. Sin duda el descubrimiento de los rayos X, no hubiera sido posible sin el desarrollo de la técnica dado en la segunda mitad del siglo XIX, gracias al que pudo disponerse de tubos de alto vacío, no concebidos hasta ese momento. Podemos además observar en Roentgen lo que Dewey denomina como “actitud científica”. En más de uno de los textos citados sobre Historia de las ciencias, se relata cómo al preguntarle a Roentgen que pensó frente a sus observaciones, el mismo responde: “¿Qué es lo que pensé? No pensé. Comencé a experimentar.” Aparece aquí la experimentación no sólo como un modo de refutar una hipótesis, sino como plantea Dewey (1929), la experimentación es la que lleva a cabo la transición que genera nuevos objetos con nuevos rasgos: una experimentación que llevara en este caso a distinguir los rayos X del fenómeno de la fluorescencia.



La “actitud científica” a la que se refiere Dewey, aparece otra vez en el interés manifestado por H. Becquerel que se encontraba estudiando un tipo de luminiscencia, la fluorescencia y se preguntó frente al descubrimiento de los rayos x si la fluorescencia se relacionaba con los mismos. La posible relación entre ambos fenómenos planteada por el científico podemos considerarla consecuencia no sólo de los procesos de entrenamiento de los que habrá participado, sino también de una “mirada entrenada” bajo otros factores de carácter social. Si bien Bloor (1971) plantea la posibilidad de percepciones erróneas bajo la influencia de ciertos compromisos (como podría ser en este caso ser el hijo de un reconocido físico) y de un interés orientado de antemano, se podría considerar en este caso como elementos que jugaron a favor del descubrimiento acompañadas estas percepciones de un trabajo experimental bien diseñado y reproducible. En resumen, la actitud debe estar acompañada de la correcta selección de operaciones a realizar tan importantes para Dewey que de ésta elección depende el progreso de la ciencia.

Bien se podría continuar este trabajo intentando buscar una correspondencia de este proceso con el programa fuerte de Bloor o buscando sucesivas instancias en las que se observan sin dudas la actitud científica y la correcta selección de operaciones de las que nos habla Dewey. Sin embargo quisiéramos llevar la atención a otro aspecto planteado por este último. Éste hace referencia a que conocemos cuando nuestra investigación nos lleva a conclusiones que resuelven el problema que la provocó (Dewey, 1929). Llevado esto a la sucesión de hechos que nos ocupa, podemos considerar que fue Bequerel quien genera en su momento el problema con el descubrimiento de un nuevo fenómeno que será a posteriori la radiactividad, cuando Marie Curie identifique el Radio y así denomine el fenómeno y será finalmente Rutherford quien resuelva el problema al poder identificar en qué consiste el mismo. Ahora, la relevancia de esta serie de hechos creemos se encuentra en que a partir de este momento cambia en las ciencias la noción de verdad. En palabras de Dewey (1929): “sustituimos la búsqueda de la certeza por la búsqueda de la seguridad”. De aquí en más, las leyes de la naturaleza han de verse de modo diferente: a partir del principio de incertidumbre éstas pasan a verse como “fórmulas para la predicción de la probabilidad de un acaecer observable”; las leyes nos indican la probabilidad de que algo ocurra dentro de ciertos límites de probabilidad, nos llevan a reconocer que el conocer es un “género de interacción”.

Como ya se citó en este trabajo, los estudios de Rutherford y Soddy sobre la desintegración radiactiva sugirieron que el número de átomos que se desintegra radiactivamente durante cierto lapso de tiempo, es una fracción determinada de los átomos existentes al principio y es una constante característica del cuerpo; pero ante unos cuantos átomos radiactivos, lo único que podemos afirmar, es el número de ellos que se habrán desintegrado en un cierto tiempo, sin poder saber con seguridad cuáles de ellos son los que experimentarán el proceso. Está aquí el cambio de visión, cambio de paradigma sin dudas, ya que hasta el momento se consideraba una herejía afirmar que un determinado proceso no podría predecirse con total certidumbre, dentro de la visión mecanicista del mundo. Las leyes y los hechos de la naturaleza son ahora de naturaleza estadística. El principio de indeterminación, nos plantea Dewey, aparece como una “catástrofe intelectual”. Éste nos afirma en otro capítulo de la “Búsqueda de la certeza” que “las conclusiones importantes de la ciencia son aquellas que se resisten característicamente a su identificación con algo conocido de antemano”: hay en la historia de la ciencia pocos casos como el que nos compete, que tanto se corresponda con esta afirmación.

Uno de los puntos del programa fuerte es el que se refiere a tratar con imparcialidad tanto lo falso como lo verdadero así como deben también explicarse lo falso y lo verdadero: principio de simetría. En su libro “Conocimiento e imaginario social”, Bloor (1971) nos plantea que cuando



hablamos de verdad nos referimos a “que una creencia, juicio o afirmación se corresponden con la realidad, captando y reflejando las cosas tal y como están en el mundo”

¿Cómo se observa a partir de estos hechos analizados la noción de verdad? Nos parece pertinente que el indicador de verdad a seguir a partir del cambio en las ciencias que introdujera el descubrimiento de la radiactividad, sea como plantea Bloor, el de que una teoría funciona. Precisamente ese el cambio crucial que se introduce en las ciencias físicas a partir de los hechos analizados: la sustitución de la “búsqueda de la certeza” por “búsqueda de la seguridad” para Dewey y el abandono de la noción de verdad según Bloor, considerando las teorías “como instrumentos convencionales con los que manejar nuestro medio ambiente y adaptarnos a él”.

REFLEXIONES FINALES

Es un hecho común que los cursos de ciencias del nivel de secundaria no suelen ir de la mano de las metaciencias sino que se trabajan los contenidos como algo “aséptico”, generando la creencia en los estudiantes de que los mismos vienen “dados” o que algún científico llegó a ellos porque era eso lo que precisamente estaba buscando aplicando un prolijo método científico. O por el contrario les decimos que tal o cual descubrimiento, como el de la penicilina por citar alguno, se dieron por “casualidad”.

Prácticamente no se realiza entonces ninguna contextualización de los hechos tratados desde los puntos de vista históricos, políticos o sociales. Se omite que los personajes relevantes para la construcción del “edificio” de la ciencia son de naturaleza humana, influidos por el contexto político y económico del lugar en que vivió, por las tendencias en investigación del momento, por sus relaciones sociales y sus condiciones de vida. Se recuerda solo a los que “llegaron primero” y por eponimia ocupan un lugar destacado en la historia de la ciencia y poco o nada se sabe de los colaboradores que trabajaron para que estos avances fuesen posibles.

Al tratar el contenido radiactividad en el aula, se presenta una oportunidad insoslayable de modificar estos esquemas extendidos, de cambiar nuestras prácticas como docentes. Esto a la vez permitiría, como plantea Gallego (2007) que los estudiantes se acerquen a una comprensión racional de los motivos por las cuales se formularon y aceptaron los diferentes modelos y el papel que para cada uno de éstos cumplieron los resultados experimentales y la necesidad de un desarrollo tecnológico consignado en los instrumentos. Que la ciencia es una actividad humana y humanizadora, el proyecto de hombres y mujeres que a la vez son producto de su tiempo, un gran proyecto que no estuvo ni está exento de contradicciones y de miserias como otras tantas actividades.

BIBLIOGRAFÍA CITADA Y CONSULTADA:

Asimov, I. (1999). Breve historia de la química. Alianza Editorial. Madrid.

Asimov, I. (1981). Momentos estelares de la ciencia .Alianza Editorial. Madrid.

Bensaude-Vincent, B. et al. (1997) Historia de la Química. Addison-Wesley/ Universidad autónoma de Madrid. Salamanca.



Barnes, Kuhn, Merton et al.(1980). Estudios sobre sociología de la ciencia. Alianza Editorial. Madrid.

Bernal, J. (1979). Historia Social de la Ciencia Tomos 1 y 2 .Ediciones Península Serie Universitaria. Quinta edición. Barcelona.

Bloor, D. (1998). Conocimiento e imaginario social. Gedisa editorial. Barcelona. Brunet Icart, Ignasi y Pastor Gonsálbez, Inma. Epistemología y Sociología de la Ciencia. Tomado el 18 de Marzo de 2010 de <http://www.praxissociologica.org/.../fileDownload.aspx?id..n6>

Cubillos Alonso, G. La mujer en la historia de la química. Universidad Nacional de Colombia. Tomado el 24 de julio de 2009 de http://www.emagister.com/uploads_courses/Comunidad_Emagister_64145_641_45.pdf

Dewey, J (1952). La búsqueda de la certeza. Fondo de cultura universitaria. México.

Domingo, J. (1994). Enseñanza, currículum y profesorado. Akal Universitaria. Madrid.
González Rubio Garrido, P. Madame Radiativité. Red de Revistas Científicas de América Latina y el Caribe, España y Portugal Sistema de Información Científica Redalyc Ciencias n° 77. Enero-Marzo 2005. Tomado el 24 de julio de 2009 de http://www.alumno.unam.mx/algo_leer/MadameRadiactiv.pdf

Fernández, I. et al. (2002) Universitat de València, Universidade de Aveiro y Universidade de Porto. Visiones deformadas de la ciencia transmitidas por la enseñanza. *Enseñanza de las ciencias*, 20(3), pp. 477-488

Galagovsky, L. (coord.). (2008) ¿Qué tienen de naturales las ciencias naturales? Buenos Aires. Editorial Biblos.

Gallego, et al. (2007). Historia, epistemología y didáctica de las ciencias: unas relaciones necesarias. *Ciência & Educação (Bauri)*, 13(1). Print version ISSN 1516-7313.

Heisenberg, W. (1971) La imagen de la naturaleza en la física actual. Ediciones Orbis, SA. Barcelona.

Jeans, J. Historia de la física. Breviarios del Fondo de cultura económica. México. 3ª Edición.

Kuhn, T.(1994). El camino recorrido desde las Revoluciones Científicas. Galileo: publicación del Instituto de Filosofía de la Facultad de Humanidades y Ciencias de la Educación. N°9. Montevideo.

Kuhn, T. (2006) Estructura de las revoluciones científicas. S.L. Fondo de cultura económica de España. Madrid.

Lakatos, I. (1983). La metodología de los programas de investigación científica. Madrid: Alianza.
Otero, Edison. El “programa fuerte” en sociología de la ciencia y sus críticos. *Revista Austral de Ciencias Sociales*. Tomado el 18 de Marzo de 2010 de http://www.humanidades-uach.cl/revistas/cssociales_2/articulo9.pdf



Prigogine, I. y Stengers, I. (1990). La nueva alianza. Madrid. Alianza.

Programa oficial de Filosofía. 2° año de bachillerato. Reformulación 2006. Tomado de
<http://www.ces.edu.uy/ces/images/stories/reformulacio2006quintobd/filosofia5.pdf>

Programa oficial de Química 2° año de bachillerato. Reformulación 2006. Tomado de
<http://www.ces.edu.uy/ces/images/stories/reformulacio2006quintobd/quimquinto.cient.pdf>

Taylor, J (1974). La nueva Física. Alianza Universidad, Madrid.