

“SUSTANCIA” EN EL DEVENIR LA QUIMICA: DIME CÓMO TE BUSCAN Y TE DIRÉ QUE ERES

“Substance” in the evolution of chemistry: tell me how
the other is looking for you and I will tell you what you are

Berta Lucila Henao¹
María Silvia Stipcich²
Marco Antonio Moreira³

Resumen: Con base en planteamientos de Stephen Toulmin se presentan algunos aspectos del devenir histórico de la Química, en relación con el concepto *sustancia*. En un recorrido somero y no lineal, el texto intenta mostrar algunas complejas redes que se tejen entre los diversos componentes de lo que Toulmin denomina “ecología intelectual”; así como los nichos de la *racionalidad* y la *representación*, en las dinámicas de la misma. Esta aproximación al devenir del concepto, permite identificar preguntas y problemas que, con diferentes significados, énfasis y matices, aún están vigentes; modelos explicativos con los que se ha pretendido dar respuesta a dichas cuestiones y algunas formas de validación que permiten la aceptación contextual de los mismos. Finalmente, proponemos posibles implicaciones de estos análisis para la enseñanza.

Palabras clave: Racionalidad. Argumentación. Representación. Devenir. Sustancia.

Abstract: Taking into account Stephen Toulmin’s approaches, we will look at some aspects in the historical development of Chemistry connected to the concept of substance. In a superficial and non-linear manner, the text tries to show some complex networks that developed between the diverse components named by Toulmin as “intellectual ecology”, such as the niches of rationality and the representations among them. This approximation to the outcoming allows to identify the questions and the problems which with different meanings, emphasis and shades are still current; explanatory models which have pretended giving an answer to those questions and some forms of validity which permit the contextual acceptance of them. Finally, we propose possible implications of these analysis to teaching.

Keywords: Rationality. Argumentation. Representation. Evolution. Substance.

¹Licenciada en Educación Biología y Química, Especialista en Educación en Ciencias Experimentales; Docente, Departamento de Enseñanza de las Ciencias y las Artes, Facultad de Educación, Universidad de Antioquia. Medellín, Colombia. blucila@gmail.com

²Licenciada em Matemática y Física, Doutora en Enseñanza de las Ciencias; Docente, Departamento de Formación Docente, Facultad de Ciencias Exactas, Universidad Nacional del Centro de la Provincia de Buenos Aires, Argentina. silcich@hotmail.com

³Licenciado en Física, PhD “Science Education”; Docente, Instituto de Física, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, RS, Brasil. moreira@if.ufrgs.br

¹Gra 81BN° 7A-40 casa 15
Medellín, Colombia

Introducción

[...] las formas y las leyes de nuestros mundos no se encuentran ahí, ante nosotros, listas para ser descubiertas, sino que vienen impuestas por las versiones del mundo que nosotros inventamos, bien sea en las ciencias, en las artes, en la percepción y en la práctica cotidiana. Cuestiones tales como si el mundo está formado por partículas o por ondas, o cómo se mueve la tierra, se determinan mediante un laborioso proceso de invención y no a través de la observación pasiva. (Goodman, 1995, p. 43)

Coherente con una perspectiva humanista, para la cual hacen parte de la cultura los caminos que sigue un grupo social para explicar racionalmente el mundo, sus formas de comunicación, es decir, los lenguajes, los códigos, los signos y los símbolos, así como, sus herramientas y técnicas, Stephen Toulmin (1977) considera que las disciplinas científicas son culturas a las cuales les son propias unas formas particulares de ver e interpretar, la invención de explicaciones, la generación de preguntas y problemas, la construcción de herramientas conceptuales y la utilización de elementos tecnológicos.

En sus análisis sobre la evolución de las ciencias, este epistemólogo toma distancia de quienes, como los positivistas, consideran que la tarea de los intelectuales es *descubrir* lo que sucede de hecho en el mundo; así como, de quienes aluden a que, dicha tarea consiste en reordenar y mejorar los *formalismos* para hablar acerca de los fenómenos. En sus palabras, compete a los intelectuales construir mejores *representaciones*, nomenclaturas y procedimientos explicativos, para dar cuenta de los aspectos importantes de la naturaleza⁴ y discernir en qué condiciones y con qué grado de exactitud la *representación* resultante puede servir como *una explicación*. (TOULMIN, 1977).

Desde su punto de vista, hablar de *representaciones*, de construcción de modelos, nos aleja de posturas deterministas porque, dice, pensar que A es B, es una cosa y pensar de A como si fuera B, es otra. En el mismo sentido, considera que la pregunta acerca de si *los* átomos, genes o electrones representan algo que *realmente existe* o son simples *ficciones teóricas*, es una pregunta que invita a tener en cuenta el sentido de la palabra *existen*, y al respecto afirma que, “para un físico práctico la pregunta por la existencia de algo como un neutrón, actúa a manera de invitación a *producirlo*” (TOULMIN, 1964, p. 155).

Cuestiona la verosimilitud o búsqueda de verdades inmutables y, en relación con los *modelos teóricos*, llama la atención sobre la importancia de tener en cuenta que no toda entidad teórica que no se pueda “demostrar” que existe será desechada. En sus palabras, la conclusión sobre si determinada *noción* debe ser dejada de lado, sólo resulta justificada si como “el flogis-

⁴ Aunque no problematiza el concepto *naturaleza*, es posible decir que Toulmin se distancia del significado determinista, alusivo a una realidad externa o dada.

to”, “fluido calórico” y “éter”, hubiera perdido fertilidad explicativa. Desde este punto de vista, los *modelos teóricos*, por muy sofisticados que parezcan, siempre implican una suposición provisoria; y, aunque hayan sido fértiles y de largo alcance, tampoco son desechados en procesos simplistas de falsación o de verificación (TOULMIN, 1964).

Desde esta perspectiva, interesa desentrañar las “buenas razones” que permiten dar validez a una teoría, un procedimiento o un modelo explicativo; se hace importante comprender qué es aquello que subyace a un conocimiento que, en una primera mirada, nos puede resultar erróneo y difícil de aceptar. Así mismo, conviene entender el papel de la *flexibilidad intelectual*, en palabras de Toulmin (2003) la *racionalidad*, como motor de la evolución conceptual y como componente fundamental de una *ecología intelectual*, es decir, del legado cultural que es apropiado por quien se forma en una disciplina científica.

Hay aquí una postura crítica frente a la búsqueda de verdades mediante procedimientos adscritos a la lógica formal; y, en coherencia, hay una valoración explícita de la lógica sustantiva⁵. Desde esta postura, es nuestro interés, reivindicar el valor de algunos trabajos que, en el devenir de la Química, aluden al concepto *sustancia*, mostrando el carácter cambiante de las explicaciones dadas a diversos problemas; la posibilidad de variación en las preguntas y en los ideales explicativos; así como, el devenir en los criterios de racionalidad, es decir, en las consideraciones que permiten la aceptación de dichas explicaciones. Aunque preferimos hablar devenir, hacemos uso del concepto evolución, en el marco de la perspectiva toulminiana⁶.

Esta opción, aludir al devenir, implica evitar atribuciones eminentemente teleológicas a las dinámicas de las empresas intelectuales o científicas. En términos heracliteanos, obliga a pensar en continuas contradicciones, síntesis y tensiones; conlleva un reconocimiento de lo difícil que es cambiar los viejos marcos conceptuales, al tiempo que se identifican las implicaciones de los asuntos contextuales, es decir, la permanente construcción de relaciones que, en algunas ocasiones, comprometen cambios sólo en algunos aspectos de las ecologías intelectuales y, en otras, profundas transformaciones. El devenir admite rupturas y retrocesos; alude a que, ocasionalmente “reaparecen” elementos de anteriores marcos culturales, aunque siempre con diversos y novedosos matices, “re-recreados”, “re-contextualizados” o “re-elaborados, en permanente tensión con otros marcos de referencia.

En coherencia con lo anterior, nos interesa mostrar el *carácter científico* de algunas explicaciones aceptadas provisionalmente y, en lo posible, hallar la propiedad y adecuación de las razones para tal aceptación, considerando que, como lo explicitan Toulmin, Rieke y Janik (1979), hablar de lo apropiado y lo adecuado depende de la situación y que, lo que para un grupo es aceptable como razonamiento o argumento, puede no serlo para otro.

Así, retomamos de Toulmin la posibilidad de hallar rasgos de “filiación”, tanto en los problemas e ideales explicativos, como en aspectos relacionados con los criterios de selección de explicaciones; rasgos que, de algún modo, permiten identificar en tiempos remotos, cuestiones que atañen con el campo disciplinar que nos interesa, la Química. Siguiendo las reflexiones de Schrödinger, diremos que, más allá de buscar las raíces de prejuicios científicos fosilizados y

⁵ La lógica sustantiva alude al carácter contextual y situacional de los razonamientos.

⁶ Consideramos que el significado que da Toulmin al concepto “evolución” está más cercano al significado de devenir que a la connotación de evolución como “desarrollo” o “desenvolvimiento”.

dogmatizados, nos proponemos hallar cimientos de interpretaciones que, aunque cuestionados por perspectivas científicas contemporáneas, son aún dominantes en nuestro pensamiento, en las categorías lógicas en las que se mueve y los esquemas lingüísticos en los que se expresa.

En la misma línea de consideraciones, Mosterín (1984) invita a ver que, guardadas profundas diferencias, es posible considerar que las relegadas y cuestionadas elucidaciones aristotélicas sobre las *causas o principios primeros*, explicaciones en las cuales posiblemente subyace una visión sistémica, resultan coherentes y, quizás, útiles para comprender actuales teorías de la Física subatómica. Dichas consideraciones se constituyen en razones que justifican una más amplia revisión histórico-epistemológica de algunos conceptos explicativos, preguntas e ideales en los cuales es posible identificar redes que los vinculan con los problemas de la Química.

Dado que este escrito intenta develar asuntos de orden ontológico y epistemológico que, desde nuestro punto de vista, tienen importancia para la enseñanza de las ciencias, consideramos pertinente desplegar aspectos de nuestras posturas epistemológicas, al tiempo que presentamos algunos significados contemporáneos del concepto *sustancia*. Iniciamos un recorrido por devenir de dicho concepto, con la exposición de algunos planteamiento del estudio antropológico realizado por Bruno Latour⁷, al entonces reciente, pero bien posicionado campo de la neuroendocrinología; un campo, fuertemente relacionado con el de la Química. En sentido figurado, pretendemos mostrar que es importante, como lo advierte Schrödinger, “no tomar por *natural* lo que es, de hecho, *artificial*”.

“Sustancias”: entre inscripciones gráficas, documentos, extractos “naturales” y materiales “sintéticos”

En concordancia con la perspectiva que subyace en nuestro trabajo, los autores del estudio al que hacemos referencia, enfatizan el carácter sociocultural del conocimiento científico y emprenden el análisis de la producción de conocimientos con un acercamiento a la “*vida en el laboratorio*”; una investigación de tipo etnográfico, estudio de caso, respecto a lo que los autores denominan “*construcción de hechos científicos*”. Investigación en la cual conceptos como “*hecho*”, “*cultura*”, “*campo*” e “*inscripción gráfica*” son el centro de sus discusiones y nodos de las posturas epistemológicas que allí presentan.

Respecto al concepto “*hecho*”, se explicita un reconocimiento a la tensión entre dos significados opuestos. De un lado, el que refiere el término a una entidad *objetivamente independiente*, algo dado de antemano, que en virtud de su carácter *externo* no es susceptible de cambio, podríamos decir, ‘naturaleza’ o ‘realidad’. De otro, el significado etimológico del término que

⁷ Este estudio es realizado en el *Salk Institute de Estudios Biológicos*, La Jolla California, durante 1976 y se presenta en el texto titulado “La vida en el laboratorio: la construcción de los hechos científicos” (LATOUR y WOOLGAR, 1995). Aunque centrado en el campo de la neuroendocrinología, retomamos aquí los apartados del texto que tienen relaciones explícitas con el campo de la Química y, específicamente, con el concepto “*sustancia*”.

nos remite a las raíces *facere, factum*, es decir, *hacer o fabricar*. Es este último el que resulta coherente con la perspectiva antropológica acogida por los autores del estudio en cuestión (LATOURE y WOOLGAR, 1995), significado al que aluden al hablar de *construcción de conocimiento*; para el caso concreto, la construcción de las *sustancias químicas*.

En relación con esos dos significados, neuroendocrinólogos describen sus propósitos de investigación en términos de *aislar, caracterizar, sintetizar y hallar los modos de actuación* de los factores liberadores; no obstante, son “vistos” por el antropólogo que los estudia, como *lectores y escritores de literatura* y constructores de *hechos*. Para éste, el laboratorio es una colmena de actividad *escritora* o *sistema de inscripción gráfica*⁸ en el cual los *instrumentos de inscripción* hacen posible la transformación de *trozos de material* en *documentos escritos* y los *enunciados* de dichos documentos pueden convertirse en una *entidad* o en un *artefacto*⁹.

En su interés por resaltar y desentrañar los *microprocesos de negociación* de significados y criterios de valoración, los autores del estudio antropológico destacan que los científicos del Salk Institute constituyen una extraña *tribu* que pasa la mayor parte del tiempo codificando, marcando, alterando, corrigiendo, leyendo y escribiendo y que el principal resultado de las prolongadas series de transformaciones es un *documento escrito*, que se constituye en el recurso crucial en la *construcción de una sustancia*.

Latour y Woolgar (1995) toman distancia de lo que denominan *descripciones epistemológicas retrospectivas*, por considerar que en éstas se plantea la elaboración de conocimiento en términos de “proceso de pensamiento” y “razonamiento lógico” en los cuales se olvidan, se eluden o se desconocen los *microprocesos de negociación* inherentes a estas construcciones. En concordancia con la perspectiva sociocultural de Lev Vigotsky¹⁰, consideran que las negociaciones de significado, así como, los procesos de argumentación y persuasión son el trasfondo cultural que permite la emergencia de una “idea” o la reconstrucción de un “razonamiento lógico”.

Desde este punto de vista, el mismo acto de percibir está constituido por fuerzas sociales predominantes y las iniciativas personales tienen relación directa con aquello que se ha leído, discutido o escuchado, en un determinado “campo” o ámbito cultural. Perspectiva coincidente con las propuestas toulminianas, respecto al valor de la argumentación sustantiva y al marcado acento en los aspectos socioculturales del conocimiento científico. Subyace aquí la consideración acerca del carácter altamente dependiente de las percepciones respecto al conocimiento.

⁸ Como lo explicitan los autores, la noción de *inscripción gráfica* es tomada de Derrida y se refiere a la operación más básica que la escritura. Alude a trazos, manchas, números registrados, espectros, picos, entre, otros. En el mismo sentido, un *aparato de inscripción gráfica* es aquel cuyo rasgo principal es la producción final de una *figura* o cualquier otra información sobre un nuevo compuesto.

⁹ El camino contrario a la “facticidad” es el camino conducente a la “artificiosidad”.

¹⁰ La referencia a Vigotsky no desconoce que las aportaciones de este autor están vinculadas al campo educativo mientras que las de Latour y Woolgar a las empresas científicas. No obstante, los dos casos, comparten el supuesto de la construcción *en colaboración* con otros sujetos.

En la perspectiva antropológica planteada, no es posible separar contextos de construcción, validación y divulgación de conocimiento. La alusión a los *microprocesos de negociación* como nodo central de la *construcción* de “*hechos científicos*” y la identificación del trabajo de laboratorio como *actividad de inscripción gráfica* cuyo producto principal son los documentos escritos, cuestionan la posibilidad de hablar de “descubrimientos” y enfatizan que ésta es una *construcción social*. Para reafirmar dicha cuestión se apela al papel de la *fenomenotécnica*, como *reificación* de conocimientos, en dicha construcción.

Respecto a la *fenomenotécnica* es importante resaltar que, en coincidencia con la perspectiva de Bachelard, el significado dado a este concepto marca distancia respecto a posiciones empiristas, para admitir la construcción de nuevas realidades científicas; no obstante, se aleja del racionalismo bachelardiano. Se considera que los instrumentos de inscripción gráfica como los espectrómetros de masas y aparatos para cromatografía, entre otros, en tanto *reificación* del conocimiento socialmente construido, hacen posible la *construcción de sustancias*. A la manera en que lo propone Toulmin, se hace referencia a la existencia de *moléculas neurotransmisoras* en términos de la posibilidad de *construirlas*.

Desde este punto de vista, la *realidad objetiva* a la que aluden los científicos es una *realidad artificial* construida utilizando los instrumentos de inscripción, de tal manera que, la existencia de los fenómenos y la de los escritos sobre los mismos, está condicionada por dichos instrumentos; en palabras de los autores “no se trata sólo de que los fenómenos *dependen* de ciertos instrumentos materiales, sino que el escenario material del laboratorio constituye completamente los fenómenos” (LATOURE y WOOLGAR, 1995, p. 77). Es de anotar que el uso de estos aparatos hace parte de y se constituye en prueba de *validez* para, por ejemplo, identificar la estructura molecular de una sustancia, de modo que el valor de dichas pruebas cambia acorde con la *credibilidad* que se da a la información suministrada por los mismos.

Para ilustrar lo anterior se acude al caso de la *construcción* del TRF, factor liberador de la tirotrópina, cuya estructura se logra identificar en 1969, con base en la del producto sintético. Un proceso sobre el cual Latour y Woolgar llaman la atención al advertir que, “se habla de un *hecho* cuando la sustancia se identifica con su respectiva estructura química y es posible diferenciar un enunciado como *representación* y el *objeto en sí* que toma vida propia” “En el comienzo de la estabilización del *hecho*, el objeto era la imagen virtual del enunciado; posteriormente, el enunciado se convierte en la imagen especular de la realidad externa” (LATOURE y WOOLGAR, 1995, p. 199).

De acuerdo con el relato de la investigación, la literatura y las conversaciones dan cuenta de una transformación ontológica importante cuando por medio del espectrómetro de masas, el TRF deja de ser *similar a* Pyro-Glu-His-Pro-NH₂ o *parecido* al compuesto análogo sintético. El estatus del TRF se transforma en *hecho*, su nombre químico pasa a ser el nombre de la *estructura real* e, inmediatamente, este *hecho* es plasmado en un enunciado del tipo “*queda establecido que TRF es Pyro-Glu-His-Pro-NH₂*”; así, las *huellas* obtenidas gracias a los aparatos de inscripción son traspasadas al lenguaje de la Química.

Conviene anotar que, la coincidencia de los espectros del *producto natural* y del *sintético*, por proporcionar información en el nivel de la estructura atómica basada en el espectrómetro de masas, se muestra como una prueba de que el resultado final es incontrovertible¹¹. En palabras de los autores, “una vez cesa la controversia, los hechos se dan por sentados... la *cosa* y el *enunciado* se corresponden por la sencilla razón de que provienen de la misma fuente; su

separación es sólo la etapa final de un proceso de construcción” (LATOURE y WOOLGAR, 1995, p. 206). Resultan inseparables los procesos de inscripción de los aparatos, los *microprocesos de negociación* de los científicos y la escritura de artículos.

Desde esta perspectiva, “La actividad científica no es ‘sobre la naturaleza’, es una lucha por construir la realidad...entendida como lo que no se puede cambiar a voluntad” (LATOURE y WOOLGAR, 1995, p. 273). *La vida en la laboratorio* se sintetiza en términos de construcción de *hechos científicos* y como *hecho*, “una vez creado el TRF se incorpora a nuestra visión del cuerpo...y pasa como verdad incontrovertible a los libros de texto” (LATOURE y WOOLGAR, 1995, p. 263). Es decir, así dogmatizado, se constituye en objeto de enseñanza.

Entre realidades, ficciones y representaciones: hacia la precisión de posturas epistemológicas

Para los autores del estudio al que hemos hecho referencia, queda planteada como cuestión central, que los científicos no sólo construyen modelos o representaciones, ellos construyen *realidades*; un asunto de orden filosófico y epistemológico que alude a las estrechas relaciones entre conocimiento, pensamiento, lenguaje y realidad. En este sentido, a las preguntas dirigidas a buscar explicaciones a las *cosas del mundo* y las cuestiones acerca de cómo logramos este conocimiento, se incorporan las consideraciones sobre *qué es aquello que conocemos*.

Estas cuestiones han sido de profundo interés para científicos como Heisenberg, Einstein y Schrödinger, quienes en algunas de sus reflexiones filosóficas hacen alusión explícita a las mismas, con posturas críticas al positivismo. Es así como, este último, respecto las posibles y complejas relaciones entre teorías y observaciones, lo *conocemos* y aquello que *percibimos*, nos advierte que “...tendemos a creer que las teorías deben explicar las cualidades sensoriales, cosa que, claro está, nunca consiguen” (SCHRÖDINGER, 1990, p. 95).

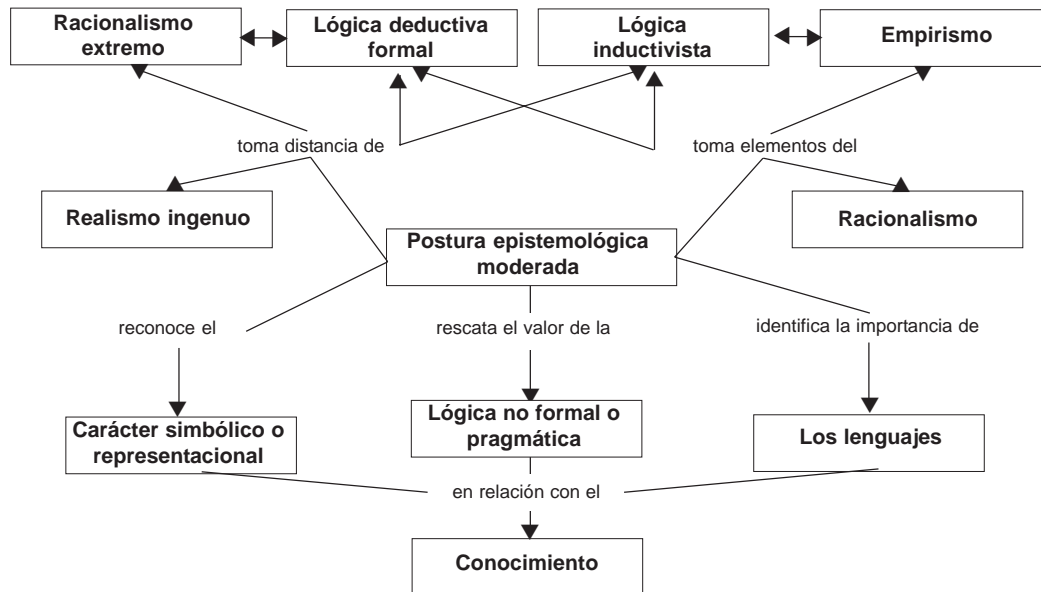
Por su parte, Einstein considera que es un fracaso tratar de derivar de la experiencia, las leyes de la mecánica y que la teoría de la relatividad ha demostrado que es errada la posición de los físicos de los siglos XVIII y XIX, a quienes se les dificulta reconocer el carácter ficticio y de libre invención de principios científicos (EINSTEIN, 1933; PALÁU, 1994). Así mismo, Heisenberg coincide con una noción no determinista de *realidad* al afirmar que hoy la meta de la investigación científica no es el conocimiento de una realidad material “en sí” y que “al menos en la Física cuántica, se trata, no de aprehender el mundo, sino de la construcción de nuevas realidades” (HEISENBERG, 1985, p. 14).

En relación con lo anterior, conviene recordar que en términos toulminianos, la complejidad de estas relaciones implica entender que es imposible negar la diferencia existente, tanto en la condición lógica, como en las propiedades, entre *entidades* y *nociones* tan teóricas como “*electrones*”, “*genes*”, “*campos*”, “*elementos químicos*”, “*átomos*” y *cosas* tan cotidianas como

¹¹ En contraste, para el caso, ya se había consensuado que el uso de, por ejemplo, la cromatografía de capa fina, no constituye una prueba adecuada (LATOURE y WOOLGAR, 1995).

mesas o balones. Conviene aludir al conocimiento en términos de la construcción de lo *real científico* y entender el papel de las *representaciones* construidas para comprender esa *realidad*.

En el ámbito de estas discusiones es importante precisar nuestras propias posturas epistemológicas; las que, como se expone en Henao y Stipcich (2008), se inscriben en un nivel de moderadas (ADÚRIZ-BRAVO, 2005; IZQUIERDO y ADÚRIZ-BRAVO, 2003), en tanto configuran una imagen de las ciencias que, como se muestra en el Esquema 1, permite destacar sus aspectos sociales y humanos, sin perder de vista los cánones que las rigen, sus logros y sus limitaciones. Una postura que concuerda con las ideas toulminianas respecto al carácter comunal y pragmático de los conceptos como estructuras triádicas de las cuales hacen parte, de un lado, los aspectos simbólicos y representacionales; y, de otro, la función explicativa que les es propia.



Esquema 1. Implicaciones de una postura epistemológica moderada.

Para nuestro propósito de indagar por los significados que se han dado al concepto *sustancia*, después de esta aproximación a una perspectiva contemporánea y a las reflexiones epistemológicas que la misma plantea, retomamos nuestra mirada, no sólo a otros significados, sino especialmente y en lo posible, a las razones por las cuales estos significados fueron aceptados y compartidos, es decir, a los contextos que los hicieron posibles. Comenzamos por los antiguos Filósofos Griegos, a quienes en forma explícita se refiere Einstein cuando dice, desde una visión racionalista, “el pensamiento puro, es competente para comprender lo real, como los antiguos lo habían soñado” (EINSTEIN apud PALÁU, 1994, p. 150).

“Sustancia” en los inicios de la filosofía y de las ciencias occidentales: los antiguos filósofos griegos

Para Aristóteles¹², en el camino hacia la construcción de explicaciones que eluden lo mítico y religioso, es decir, en la búsqueda de explicaciones en la *naturaleza* misma¹³, en la *physis*, hallamos el “nacimiento” de las ciencias, concretamente, de la Física; y, con ella, las preguntas por lo epistemológico. Con los filósofos griegos, se hace explícita e intencional la preocupación por comprender el mundo y, al mismo tiempo, se procura entender cómo logramos esta comprensión; doble interés que aún está vigente.

Consideran que a pesar del caos aparente, tiene que existir algo que es común a todo, que da permanencia y unidad a todo lo que existe; una *materia común* que perdura a pesar de los aparentes cambios y que explica los mismos. Su búsqueda se centra en *la sustancia, arjé o arché*; un *principio* que debe ser hallado en la *naturaleza* misma, lejos de las deidades, por indagaciones de orden *eminente racional* y no por *conocimiento sensible*; no obstante, esta relevancia de la “razón” por encima de la “experiencia sensible”¹⁴.

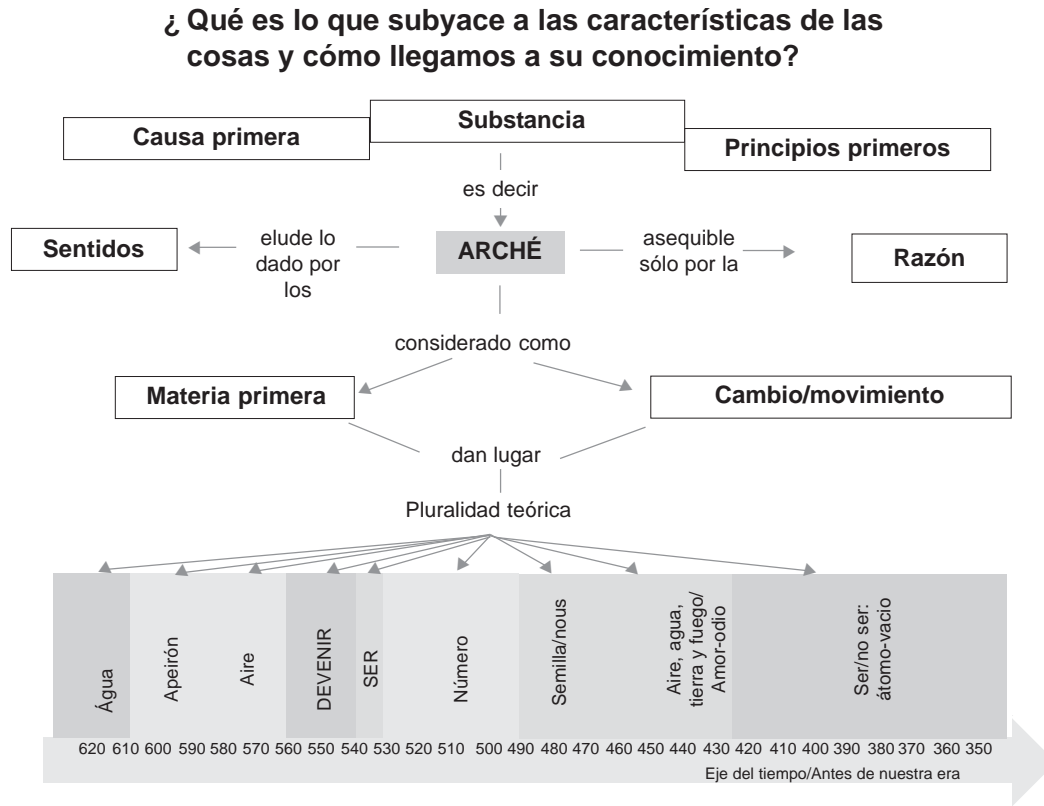
Como se muestra en el Esquema 2, aunque las respuestas explicativas de los filósofos griegos a la pregunta por los *principios o sub-stancias* son diversas y cambiantes con el tiempo, es importante resaltar que ésta es una cuestión de la que se ocupan por muchos siglos, las ciencias y la Filosofía y que, al lado del anhelo “racionalista”, en la base de esas primeras respuestas está lo que hoy podríamos denominar “realismo ingenuo”, no obstante su propio cuestionamiento al *empirismo*. En palabras de Aristóteles, todo lo que pensamos tiene existencia real y existe necesariamente.

A la pregunta por las causas y principios primeros se unen los interrogantes respecto a cómo están conformadas las cosas del mundo y, en el intento de dar respuesta a estas cuestiones, hallamos dos modelos que sobresalen en una gama de posibilidades explicativas. Se trata de las teorías de la Continuidad y de la Discontinuidad; la primera, defendida por Aristóteles, imperante por milenios, aunque luego cuestionada y relegada. La segunda, la teoría atómica, presentada por Leucipo y Demócrito en tiempos anteriores a Aristóteles, un declarado contradictor de la misma, quien con su “autoridad ministerial” inicia el cuestionamiento y, en cierto modo, el rechazo que se extenderá durante siglos a dicha teoría; posteriormente reelaborada, se hace hegemónica a partir de los trabajos de Dalton.

¹² Las ideas de este filósofo, incluidos sus análisis sobre los aportes de sus antecesores y contemporáneos, son tomadas del texto “*Lógica, metafísica y ética*”, una compilación de algunas de sus obras, en edición realizada por la Editorial Porrúa en 1972, presentada y comentada por Francisco Larroyo; y de la cual transcribimos muchas de las citas que aquí se presentan.

¹³ Aunque hemos elegido la expresión “naturaleza” para aludir al significado referido a lo dado o externo, aquí lo escribimos en la expresión original de este filósofo.

¹⁴ Resulta interesante contrastar esta postura con la enunciada por Lavoisier (2007) en su texto “*Tratado Elemental de Química*”, cuando afirma que se debe someter el razonamiento a la prueba de la experiencia, buscar la verdad en la experiencia y en la observación. Se deben ordenar los datos para llegar a conclusiones semejantes a las matemáticas... Deducir de la experiencia y encadenar hechos... No deducir más allá de la experiencia y no suplir nunca lo que los hechos silencian. Lavoisier, acoge los presupuestos filosóficos y epistemológicos de su época, añora la precisión Matemática; no obstante, se inscribe en una perspectiva eminentemente sensualista, que retoma de Condillac.



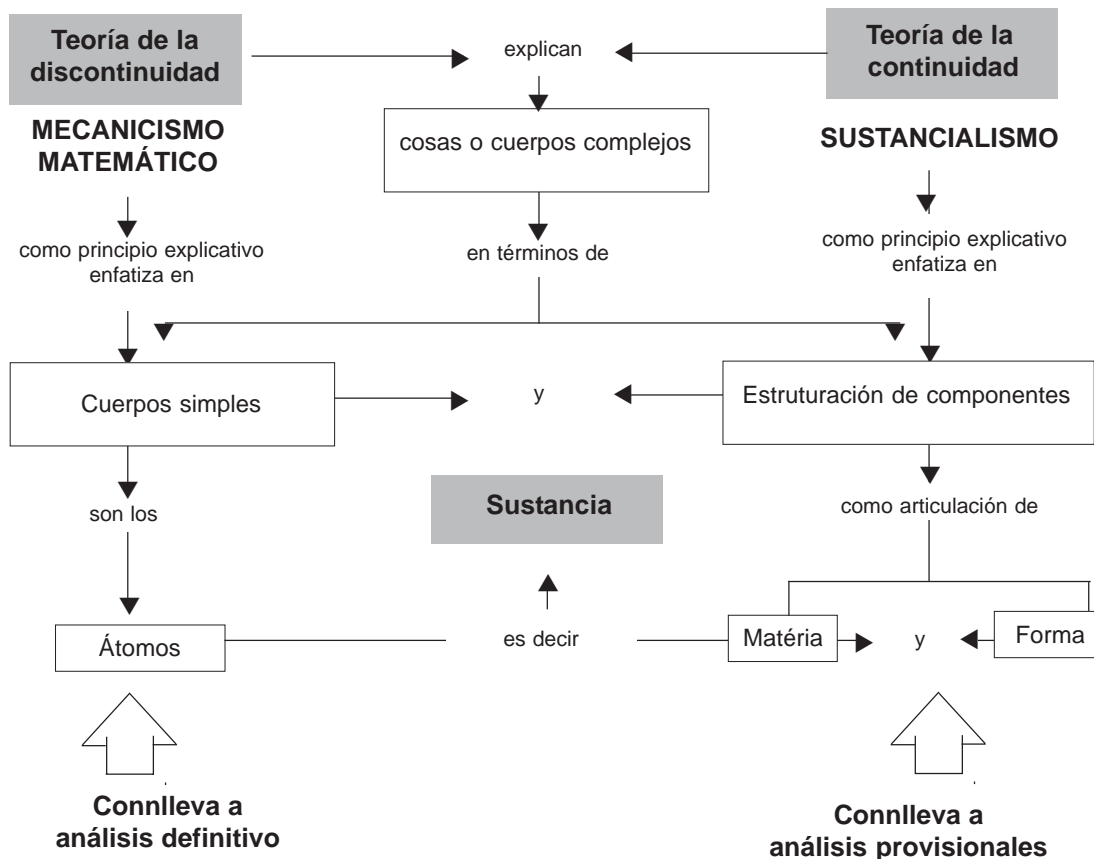
Esquema 2. Preguntas y exigencias de validez permanecen por siglos, no así las respuestas a tales cuestiones.

Desde una amplia gama de explicaciones, polaridades y coexistencias, una re-elaboración de significados

El Esquema 3 resalta cuestiones clave de dichos modelos explicativos propuestos desde la antigua Grecia, explicaciones criticadas por quienes, como los citados por Schrödinger (1997), piensan que se trata de ideas irrelevantes propias del ámbito eminentemente especulativo, por no estar relacionadas con evidencias empíricas; no obstante, otros consideran que son modelos teóricos útiles para interpretar posteriores “hallazgos”, caso reconocido y ya mencionado, en relación con la teoría de Leucipo y Demócrito re-elaborada por Dalton y, posiblemente, aplicable al enfoque propuesto por Aristóteles¹⁵, que como lo señala Mosterín (1984), quizás se muestra coherente con la actual teoría de campos.

¹⁵ Para la teoría de la discontinuidad, el átomo como partícula indivisible es el “cuerpo” último obtenido en el análisis. Para Aristóteles, la sustancia consta de materia y forma y toda materia es materia de algo; es decir, no se llega a análisis definitivos, en cierto sentido, se alude a análisis sistémicos.

¿ COMO ESTÁN CREADAS LAS COSAS DEL MUNDO?



Esquema 3. Los análisis sistémicos propios de la teoría de la continuidad se oponen a los análisis definitivos implicados en la teoría atómica.

En relación con estos marcos conceptuales, desde una visión no revolucionista, nos interesa resaltar que, a pesar de las marcadas diferencias, mostradas en el Esquema 3, durante mucho tiempo, algunos de los conceptos propios de cada uno de estos marcos conceptuales, fueron usados en forma simultánea en explicaciones y trabajos de investigación, entre los que sobresalen algunos relacionados con lo que consideramos, condiciones de posibilidad Química Moderna.

Por su contundencia para ilustrar el asunto respecto a lo que podemos identificar como articulación de marcos teóricos “opuestos”, retomamos aquí las aseveraciones de un contemporáneo y colaborador de Lavoisier, Pierre-Joseph Macquer, quien en su Diccionario

de Química de 1766, siguiendo las ideas de algunos de sus antecesores sobre la *composición* de lo que denominan cuerpos, presenta una perspectiva que se caracteriza por un interesante aporte al establecer una diferencia en el *nivel de análisis* usando los términos, *partes integrantes* y *partes constituyentes*.

Al respecto afirma que las partes constituyentes son, hablando con propiedad, los *principios* de los cuerpos, diferentes entre sí y al compuesto del que forman parte, esto es, son *sustancias* de materia diferente que por su unión y combinación mutua *constituyen* realmente los cuerpos mixtos o cuerpos que *no participan* de las propiedades de las partes constituyentes. Las partes integrantes de los cuerpos, no se diferencian entre sí en nada y tampoco difieren, en cuanto a su naturaleza y a sus principios, del cuerpo mismo en cuya masa entran; es decir, las partes integrantes de un cuerpo son las moléculas más pequeñas en las que puede ser resuelto sin ser descompuesto (MACQUER apud BERTOMEU y GARCÍA, 2006).

Conviene anotar que, no sólo se intenta articular o relacionar ideas de las teorías de la Continuidad y la Discontinuidad. Es posible detectar que, a la teoría aristotélica sobre constitución de continuidad, podríamos decir, sistémica y su concepto *elemento* como *sub-stancia* o *principio* responsable de las características, al que sólo se podría acceder por vía de razonamiento, se le pone en relación la concepción operativa de *sustancia simple*¹⁶; una concepción coherente con perspectivas epistemológicas empiristas de los siglos XVI y XVII que buscan trascender la denominada metafísica especulativa endilgada al trabajo de los alquimistas, considerados como herederos del llamado dogmatismo aristotélico.

La noción operativa de *sustancia simple*, está especialmente relacionada con las investigaciones sobre la composición de sales medias o sales neutras, ámbito en el cual cobra significado la noción de *componentes*, una noción opuesta a la tradicional de *elemento* o *principio químico*. En coherencia con lo expresado por Macquer, los componentes son *sustancias tangibles*, perfectamente reconocibles en los laboratorios por sus propiedades y que se pueden obtener mediante análisis o combinarse adecuadamente para producir de nuevo la sal.

En relación con las ideas sobre composición, es interesante resaltar que, integrada a ideas aristotélicas, precede a Lavoisier la noción operativa y empirista sobre las *sustancias* o *cuerpos simples*. Así, por ejemplo, antes de Macquer, con base en los aportes de Robert Boyle (1627-1691) y haciendo eco de los mismos, Lemery (1615-1669) dice que la expresión *principios* no debe ser empleada en sentido estricto, puesto que algunas sustancias consideradas como tales, podrían dividirse en una infinidad de partes, verdaderos ‘principios’; en este sentido, precisa, el término alude a las sustancias que son divididas hasta donde el débil esfuerzo humano lo puede lograr (LEMERY apud BERTOMEU y GARCÍA, 2006). Expresión retomada posteriormente por el mismo Lavoisier en su Tratado Elemental.

¹⁶ Es posible decir que, mientras la mirada aristotélica deja un lugar para la indeterminación, la mirada atomista cierra los análisis en la búsqueda de *unidades* mínimas simples. Aquí hallamos una cierta analogía de esta última, con la de quienes, desde una óptica operativa, aluden a *sustancias simples* como límite de “división”; obviamente, es fundamental resaltar las divergencias en los criterios epistemológicos que las fundamentan; racionalista en un caso y empirista en el otro.

De la metafísica alquímica a la composición de las “sustancias”: condiciones de posibilidad de la química como disciplina

Una doctrina de la ciencia, es desde ya una doctrina de la cultura y el trabajo, una doctrina de la transformación correlativa del hombre y de las cosas. (Bachelard, 1975, p. 9)

Gago Bohórquez, en su traducción del Tratado Elemental de Química de Lavoisier, señala que incluso hacia la segunda mitad del siglo XVIII, la Química es una de las ciencias cuyo reflejo en la gran obra de la ilustración, *La Encyclopédie 1751- 1768*, parece menos brillante, dado que los químicos de la época no consiguen crear un sistema teórico basado en el método experimental, ni elaborar un lenguaje metódico, preciso y eficaz como instrumento de comunicación.

No obstante, desde una perspectiva no revolucionista, algunos historiadores consideran que los problemas ya mencionados sobre la composición, además de las preocupaciones relacionadas con la heterogeneidad del vocabulario químico y la búsqueda de interpretaciones satisfactorias de las transformaciones químicas, se constituyen en la base de las investigaciones que posibilitan la construcción de la Química como una disciplina académica, antes de la llegada de Lavoisier.

Se identifica en los albores del siglo XVIII, una genealogía histórica particular, investigadores que se distancian de la Alquimia y buscan credibilidad y reconocimiento; un grupo de científicos que comparte, con diversos matices y con profundas diferencias, problemas, ideales explicativos, conceptos, procedimientos y cánones de racionalidad (BERTOMEU y GARCÍA, 2006). Buscan mayores niveles de comprensión y generalización, camino a la consolidación de una ecología intelectual propia; una búsqueda que conlleva la posibilidad de acoger criterios de demarcación respecto a la Alquimia y otros saberes.

No obstante, reconociendo tal demarcación, conviene recordar que en siglo XVII en varias partes de Europa, con aportes de la Alquimia y especialmente de la Iatroquímica paracelsiana, se introducen prácticas e instrumentos que contribuyen a producir una cultura propia, distante de los que podría estar en las boticas y talleres de artesanos (BERTOMEU y GARCÍA, 2006). Este punto de vista reconoce lazos de relación, en términos de legado cultural, entre Alquimia y Química; lo que convoca a ilustrar esta cuestión, dado que, es común aludir a la primera como conocimiento no científico e irracional.

Tomando distancia de dicho presupuesto, reiteramos que el devenir de las culturas implica complicados procesos de construcción, transformación, permanencia, tensión, rechazo, resurgimiento y síntesis; procesos que podemos identificar en el nodo de interrelaciones Alquimia - Química, y que complejizan una situación, más allá de cambios paradigmáticos. Al respecto, a modo de apertura diremos que, aunque con matices de tipo mágico y religioso, la alquimia es una disciplina que se practicó en los laboratorios.

A modo de síntesis y según Aromatico (1998), los alquimistas construyen una vía de conocimiento próxima a la ciencia y a la religión, pero diferenciada de ellas. En sus escritos, “libros mudos”, elocuentes sólo para los “iniciados”, hablan de espiritualizar la materia y materializar el espíritu; consideran posible conocer “la verdad” a través de una técnica secreta, “metafísica experimental”. Con la transmutación de los metales en “oro” y la purificación del

alquimista hasta hacerse “inmortal”, intentan dominar las *sustancias, principios* o *fuerzas de la naturaleza* para obtener la piedra filosofal, el *elixir de la vida*. Posteriormente, siguiendo esta línea, con Paracelso la Alquimia se propone una búsqueda de la salud como equilibrio de los *principios* en el cuerpo humano (AROMATICO, 1998).

Apartando los matices mágico-religiosos, resaltamos aquí que los alquimistas disponían de técnicas, procedimientos y aparatos que, con profundas modificaciones, aún son utilizados. Así mismo, como lo señala Llorens (1991), son contribuciones de la alquimia medieval, la descripción y utilización de ácidos minerales, la identificación y el uso de *nuevas sustancias* como las sales amónicas y el ácido acético obtenido por destilación del vinagre; además de las primeras ideas de afinidad en un sentido químico y su interés en clasificación de las sustancias.

Lo anterior nos permite decir que, la Química Moderna, regida por principios racionalistas imperantes desde el siglo XVII, es heredera del legado cultural construido por los alquimistas. En este sentido, la denominada revolución química promovida Lavoisier, no implica discontinuidad, aunque sí cambios drásticos, especialmente en lo que se refiere, a un alejamiento del hermetismo, el espíritu mágico-religioso y el lenguaje de la Alquimia.

Este legado cultural, en los siglos XVI, XVII y XVIII se estructura y fortalece, apoyado por marcos teóricos, como los de tipo mecanicista y matemático, otros métodos de investigación y nuevos parámetros de validación. Así mismo, las nuevas perspectivas están caracterizadas por la presencia de procesos de enorme relevancia sociocultural, como la creación de *cátedras para la enseñanza*, entre ellas, cursos de “chemiatria” o química médica; la elaboración de los respectivos *textos*, la *institucionalización de academias* y la divulgación de conocimientos en *publicaciones especializadas* (BERTOMEU y GARCÍA, 2006). Procesos profundamente distanciados del hermetismo alquímico.

En relación con lo anterior, Stengers (1991), señala que en los albores del siglo XVIII, la interpretación de las tablas de afinidad, la heterogeneidad del vocabulario químico y la búsqueda de interpretaciones de la composición y las transformaciones químicas, son objeto de fuertes controversias y con éstas, están al día las discusiones sobre un estatus de científicidad y un objeto de estudio particular para la Química. Subyacen algunos consensos, no obstante, como lo anotamos, es posible detectar que se articulan interpretaciones y explicaciones que hoy nos resultan contradictorias e incoherentes, especulación/experimentación; afinidad newtoniana/afinidad química; elementos-principios/elemento-sustancia simple, entre otros. Las condiciones de posibilidad de la Química como disciplina autónoma, no se inscriben en un marco.

A modo de conclusiones

En palabras de Bachelard “al seguir la Física contemporánea, nos hemos alejado de la *naturaleza*, para entrar en una fábrica de fenómenos” (1975, p. 17) y, en este sentido, es importante reconocer las profundas diferencias que, en los ámbitos ontológico y epistemológico, separan los trabajos de los alquimistas y los de quienes hoy investigan, por ejemplo, en el campo de la Química Farmacéutica o de la Química de Productos Naturales. No obstante, es posible identificar que, en la búsqueda de los llamados “principios activos”, investigaciones que conducen a la “construcción” de dichos principios por síntesis químicas “artificiales”,

parece prioritario para algunos científicos¹⁷, el interés de “arrancar” a la ‘*naturaleza*’ sus secretos por medio de complejos procesos de “purificación” con la mediación de sofisticados tecno-constructos.

En esta línea, conviene preguntar acerca de las diferencias y posibles puntos de encuentro entre, la obtención de *principios activos* y la síntesis de *análogos químicos* en la Química Contemporánea, la búsqueda de los *principios* o *substancias primeras* en la ciencia de la antigua Grecia, la *purificación* y la *transmutación* y de la que habla el alquimista¹⁸; y, por ejemplo, el “*descubrimiento*” del carácter no *elemental* del *aire* y el *agua*, en perspectiva lavoisieriana. También es importante indagar los significados y el carácter ontológico que han tenido en su devenir algunos de los denominados, en distintos momentos, *principios* y *sustancias* – agua, aire, oxígeno, oro, uranio o einstenio – .

Reiteremos la importancia de aludir a las implicaciones ontológicas y epistemológicas que devienen de revisar las diferencias entre, por ejemplo, el “agua” de la que nos habla Thales de Mileto, el significado de “agua” para Empédocles y Aristóteles, para Priestley y algunos sus contemporáneos, para Lavoisier, para un químico hoy y para cualquier persona en su vida cotidiana. La misma consideración es importante respecto al concepto “átomo” para entender, por ejemplo que, el “átomo de los griegos” como alusión a la estructura de los materiales, dista del “átomo de Dalton” como unidad de combinación química. Las *realidades* de las ciencias contemporáneas no son las mismas a las que se refieren entramados teóricos como los de los siglos XVII o XIX.

En este sentido, asumir que el trabajo en las ciencias no alude a “des-cubrir” la ‘*realidad*’ o aproximarse a una verdad, pasa por la posibilidad de comprender que las ciencias tratan con *representaciones*, es decir, que tienen que ver con la construcción de *juegos del lenguaje* alusivos a situaciones alejadas de las complejas realidades cotidianas; y que, no obstante, son útiles para explicar algunos aspectos de estas últimas; utilidad y valor juzgados con base en criterios consensuados y cambiantes, ligados a relaciones de poder imperantes en cada contexto.

Algunas implicaciones para la enseñanza

En este recorrido por el devenir de la construcción de explicaciones, además de reconocer la pluralidad de modelos explicativos, la posible coexistencia de los mismos, sus respectivas restricciones y contradicciones; más allá de destacar los logros intelectuales de los científicos y visibilizar sus limitaciones, cuestionando la imagen dogmática de las ciencias, se intenta

¹⁷ Además del Texto de Latour y Woolgar (1995) que describe la manera magistral la “construcción de hechos científicos” en el campo de la neuroendocrinología, nos referimos, a modo de ejemplo similar, al trabajo en un centro de investigaciones en el cual se adelantan estudios relacionados con la obtención y síntesis de productos “naturales”, en el campo de la Química Farmacéutica.

¹⁸ Para el alquimista la “sustancia” obtenida por purificación a partir de materiales naturales como flores y las “sustancias” sintetizadas en el laboratorio por procesos químicos, son diferentes. Para un investigador en Química Farmacéutica hoy – como en el caso analizado por Latour y Woolgar – los dos procesos llevan a obtener la misma *sustancia*. No obstante, en el ámbito de la vida cotidiana, se nos ofrecen “productos naturales” con un mensaje, algunas veces implícito, de oposición a los “sintéticos” químicos.

mostrar la fuerza de diversos marcos referencia y, en este sentido, llama la atención sobre la necesidad de indagar, no sólo las buenas razones que hacen posible la aceptación consensuada de explicaciones, sino las razones por las cuales persisten explicaciones que, desde otros contextos, son tachadas como erróneas e irracionales.

Hay aquí un llamado a develar condiciones de posibilidad que llevan al privilegio y hegemonía de algunos productos y procesos científicos, en detrimentos de otros; condiciones que incluyen asuntos políticos, éticos, ideológicos y económicos que están relacionados con la selección de aquello que se “impone” o se “elige” como digno de ser investigado, divulgado y enseñado. Al respecto, es posible señalar que viejos marcos conceptuales se yuxtaponen, articulan y complementan con nuevas perspectivas teóricas, formando complejas redes de relaciones de significado.

Tomando distancia de paralelos inadecuados entre el devenir del conocimiento científico y los procesos cognitivos individuales, el asunto señalado tiene relaciones con la Educación en Ciencias. Como lo muestran investigaciones adscritas a la línea denominada de indagaciones sobre concepciones alternativas (los citados por CARRETERO, 1997), en el aula confluyen interacciones de diversos referentes culturales, diversas formas de comprender racionalmente el mundo; un juego de interacciones que, como en la historia de las disciplinas no se resuelve con el simple reemplazo de unas explicaciones por otras; implica siempre diálogos, tensiones y síntesis, entre otros múltiples procesos.

Desde esta perspectiva, cobran especial significado los estudios sobre la naturaleza de las ciencias como fuentes para la construcción de propuestas didácticas que, más allá de comprender y gestionar adecuadamente concepciones alternativas y acercar los estudiantes a las explicaciones científicas y modelos hoy aceptados, impulsen una perspectiva para formación en la flexibilidad intelectual, contra el dogmatismo y la pasividad. Se plantea un desafío para incluir como objetos de enseñanza, asuntos polémicos y controvertibles en relación con las realidades científicas, las teorías que pretenden explicarlas y su validación.

Hay un llamado a promover el aprendizaje como construcción de nuevas realidades, lo que, de acuerdo con Segura (1997), más allá de asuntos meramente instrumentalistas y simplistas de la didáctica, invita a pensar en la posibilidad de acercarnos a la comprensión, de un mundo complejo, pleno de interacciones y dependiente del observador. Se trata de un reto a trascender posturas positivistas, para re-situar el papel de la observación y la experimentación, el uso y rol de herramientas tecnológicas, la utilización de diversos lenguajes y representaciones, así como, el papel de los libros de texto, entre otros dispositivos relacionados con la construcción de conocimientos.

Como lo señala dicho investigador, hay profundas implicaciones didácticas en la concepción filosófica constructivista. Entender que la ciencia construye *explicaciones provisionales* a partir de elaborar y re-elaborar permanentemente la realidad, lejos de caer en la desesperanza de un relativismo a ultranza, permite pensar que lo más importante para llegar al producto de estas construcciones, son los procesos implicados en las mismas, para comprender el significado de lo que es la *explicación* en la actividad científica, las condiciones que tales explicaciones satisfacen, su naturaleza, sus posibilidades de su invención, enunciado, validación, aceptación o rechazo. Posibilidades inseparables del contexto sociocultural de cada época.

Desde este punto de vista, se aboga por una enseñanza que incentive la flexibilidad intelectual; es decir, que haga posible una crítica a las maneras particulares de *construir* y *ver* el

mundo, que rompa con posturas dogmática. Una enseñanza que, distante del determinismo, propicie el ejercicio de la lógica sustantiva y posibilite lo que Moreira (2005) denomina “aprendizaje significativo crítico”; un lugar para la discusión de conceptos como relatividad, probabilidad, incertidumbre, causalidad múltiple, no-causalidad, relaciones no simétricas, grados de diferencia e incongruencia.

En concordancia con lo propuesto, teniendo en cuenta que son objetivos de la Educación en Ciencias, la formación para la ciudadanía y la democracia, además, de los propósitos que para la misma plantea Hodson (2003) respecto a que la Didáctica tiene que ver con enseñar ciencias, enseñar sobre ciencias y enseñar a hacer ciencias, cobra especial significado y pertinencia, la propuesta de “aprendizaje como argumentación” (ver los citados en HENAO y STIPCICH, 2008).

Una perspectiva desde la cual se considera que hacer ciencia implica, de manera primordial discutir, razonar, argumentar, criticar y justificar ideas y explicaciones; y, en concordancia, enseñar y aprender ciencias involucra actividades discursivas que posibilitan la apropiación de nuevas herramientas culturales y de nuevas formas de entender racionalmente el mundo contemporáneo, de ciencia, tecnología y comunicación, donde los procesos discursivos mantienen la diversidad de saberes en constante tensión, diálogo y relación. Desde una visión humanista, se trata de permitir la confluencia de horizontes hacia la construcción de mundos posibles.

Referências

- ADURIZ-BRAVO, A. ¿Qué naturaleza de las ciencias hemos de saber los profesores de ciencias? Una cuestión actual de la investigación en didáctica. **Tecné. Episteme y Didaxis**, Bogotá, n. extra, p. 23-33, 2005.
- AROMATICO, A. **Alquimia**: el secreto entre la ciencia y la filosofía. Barcelona: Ediciones B, 1998.
- BACHELARD, G. **La actividad racionalista de la física contemporánea**. Buenos Aires: Editorial Siglo Veinte, 1975.
- BERTOMEU, J. R.; GARCÍA, A. **La revolución química**: entre la historia y la memoria. Publicaciones Universitat de València: Valencia, 2006.
- CARRETERO, M. **Construir y enseñar las ciencias experimentales**. Buenos Aires: Aique, 1997
- EINSTEIN, A. La teoría y la experiencia. In: PALAU, L. A. **Textos para una historia y una pedagogía de las ciencias**. Medellín: Secretaría de Educación y Cultura de Antioquia, 1933/1994. p. 147-151.
- GOODMAN, N. **De la mente y otras materias**. Madrid: Visor, 1995.
- HEINSENBERG, W. **La imagen de la naturaleza en la física actual**. Orbis: Barcelona, 1985.

- HENAO, B.; STIPCICH, S. Educación en ciencias y argumentación: la perspectiva de Toulmin como posible respuesta a las demandas y desafíos contemporáneos para la enseñanza de las Ciencias Experimentales. **Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias**, Vigo, v. 7, n. 1, p. 47-63, 2008. Disponible en: <http://saum.uvigo.es/reec/volumenes/volumen7/ART3_Vol7_N1.pdf>. Acceso: 23 jul. 2008.
- HODSON, D. Time for action: science education for an alternative future. **International Journal Of Science Education**, London, v. 25, n. 6, p. 645-670, 2003.
- IZQUIERDO, M.; ADURIZ-BRAVO, A. Epistemological foundations of school science. **Science Education**, Pennsylvania, v. 12, n. 1, p. 27-43, 2003.
- LATOUR, B.; WOOLGAR, S. **La vida en el laboratorio**: la construcción de hechos científicos. Madrid: Alianza Editorial, 1995.
- LAVOISIER, A. L. **Tratado elemental de Química**. Trad. Laís dos Santos Pinto. 1. ed. São Paulo: Madras, 2007.
- LLORENS, J. A. **Comenzando a aprender química**: ideas para el diseño curricular. Madrid: Visor, 1991.
- MOREIRA, M.A. Aprendizaje significativo crítico. **Indivisa: Boletín de estudios e investigación**, Madri, n. 6, p. 83-102, 2005. Disponible en: <<http://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=1340902>>. Acceso: 22 jul. 2008.
- MOSTERÍN, J. Materia y atomismo. En: _____. **Conceptos y teorías en las Ciencias**. Madrid: Alianza Editorial, 1984. p. 65-84.
- PALÁU, L. A. **Textos para una historia y una pedagogía de las ciencias**. Colômbia: Editorial Universidad Pontificia Bolivariana, 1994.
- SCHRÖDINGER, E. **La naturaleza de los griegos**. Barcelona: Tusquets Editores, 1997.
- _____. **Mente y materia**. Barcelona: Tusquets Editores, 1990.
- SEGURA, D. **Constructivismo**: cambio de mirada o cambio de realidad?. Medellín: Enseñanza de la Física Sociedad Colombiana de Física, 1997.
- STENGERS, I. La afinidad ambigua: el sueño newtoniano de la química del siglo XVIII. In: SERRES, M. (Org.). **Historia de las ciencias**. Madrid: Cátedra, 1991. p. 337-361.
- TOULMIN, S. **La comprensión humana**: el uso colectivo y la evolución de los conceptos. Madrid: Alianza Editorial, 1977.
- _____. **La filosofía de la ciencia**. Buenos Aires: Fabril Editora, 1964.
- _____. **Regreso a la razón**. Barcelona: Ediciones Península, 2003.
- _____.; Rieke, T.; Janik, A. An introduction to reasoning, Macmillan: New York, 1979. In: GUTIÉRREZ, C. (Org.). **Virtual books**. Disponible en: <<http://www.geocities.com/prolenguaje/elemargumtoul.htm>>. Acceso: 23 jul. 2008.

Artigo recebido em maio de 2009 e aceito em agosto de 2009.