



El concepto de pureza: una revisión desde la naturaleza de las ciencias

The concept of purity: a review from the nature of sciences

Paula Andrea Segura Delgado¹ y Carlos Javier Mosquera Suárez²

Recepción: 13-09-2020

Aceptación: 19-03-2021

Resumen

La naturaleza de las ciencias entendida como contenidos metacientíficos y como área de investigación didáctica (Díaz, Ariza y Adúriz-Bravo, 2016) constituye para el campo de conocimiento de la didáctica de las ciencias experimentales un valor agregado relevante para problematizar y comprender nuevas finalidades de la educación a través de las ciencias (Chamizo y Pérez, 2017). Estos contenidos metacientíficos se componen de tres metateorías que progresivamente se han consolidado como indispensables para abordar el estudio de las ciencias, entendidas no como productos sino como procesos propios que a lo largo de la historia de la humanidad ha ganado el prestigio social para que las diversas disciplinas pasen de ser enseñadas en diferentes niveles educativos y que se constituyan como profesión y como objeto de investigación en programas universitarios. En la didáctica de las ciencias, en su propósito de elaborar estrategias de enseñanza para favorecer la construcción de conocimiento científico escolar, se incorpora un metadiscurso coherente con la actividad científica y con su contextualización en ambientes educativos, favoreciendo una imagen de ciencia dinámica y humana (Izquierdo, García, Quintanilla y Adúriz-Bravo, 2016).

En sus investigaciones se ha resaltado la importancia que tiene, dentro del sistema de conocimientos profesionales del profesor de ciencias, la elaboración de conocimientos relevantes en historia de la química. En este contexto, se presenta un estudio del desarrollo de representaciones conceptuales sobre la idea de pureza en química, en tanto noción fundamental para comprender el desarrollo de los conceptos problemáticos de elemento, sustancia y átomo (Alzate - Cano, M.V, 2005).

Palabras clave

Historia y epistemología de las ciencias, formación de profesores, pureza.

Abstract

The nature of the sciences understood as meta-scientific contents and as an area of didactic research (Díaz, Ariza and Adúriz-Bravo, 2016) constitutes for the field of knowledge of the didactics of experimental sciences a relevant added value to problematize and understand new purposes of education through science (Chamizo and Pérez, 2017). These meta-scientific contents are made up of three metatheories that have progressively been consolidated as indispensable to approach the study of science, understood not as products but as their own processes that throughout the history of humanity have gained social prestige so that the various disciplines go from being taught at different educational levels and becoming a profession and an object of research in university programs. In the didactics of science, in its purpose of developing teaching strategies to promote the construction of school scientific knowledge, a metadiscourse is incorporated that is coherent with scientific activity and with its contextualization in educational environments, favoring an image of dynamic and human science (Izquierdo, García, Quintanilla and Adúriz-Bravo, 2016).

His research has highlighted the importance of the development of relevant knowledge in the history of chemistry within the professional knowledge system of the science teacher. In this context, a study of the development of conceptual representations of the idea of purity in chemistry is presented, as a fundamental notion to understand the development of the problematic concepts of element, substance and atom (Alzate - Cano, M.V, 2005).

Keywords

history and epistemology of science, teacher training and purity.

¹ Profesora de química en secundaria, Colombia. orcid.org/0000-0002-1430-9020. Correo: paulaasegura94@gmail.com.

² Universidad Distrital Francisco José de Caldas, Profesor Facultad de Ciencias y Educación (Programas de Doctorado en Educación, Maestría en Educación y Licenciatura en Química, Colombia. orcid.org/0000-0001-8640-0803.

Introducción

La historia del concepto de pureza, en el contexto de la disciplina química es considerado en sus orígenes como uno de los obstáculos para el avance de la misma por su falta de significado, claridad y desarrollo (Brock, 1992). En contraposición, es considerado como un concepto fundamental para la química ya que el objeto de estudio del químico es ocuparse de la combinación y descomposición de sustancias químicas, reconociendo que las sustancias que rechazan todos los intentos de ser transformadas en sustancias químicas más simples, son elementos de los que se componen otras sustancias puras o complejas; es decir que sin la claridad del concepto de pureza es imposible desarrollar argumentaciones cualitativas para explicar la composición y las propiedades de las sustancias y para realizar análisis cuantitativos de las mismas.

Dicho panorama presentó un cambio por la definición de los elementos realizada por Antoine Lavoisier (1743-1794), así como por la aplicación de la teoría de los átomos homogéneos propuesta por John Dalton (1766-1844) y por el avance en los razonamientos en torno a la estequiometría, iniciada con la formulación química de los compuestos y elementos aportada por Jons Jacob Berzelius (1779 – 1848). Todo ello se consolidó con el avance significativo en cuanto a técnicas para el análisis orgánico y elemental, junto con sus respectivos materiales de laboratorio y equipos analíticos.

El análisis y reconstrucción histórico y epistemológico sobre el concepto de pureza, se enmarca según Moreno (2015) desde una visión *whig* al tratarse de la evolución de un conocimiento validado en el tiempo y de una visión *vertical-interna* al estudiarse un problema científico analizado desde sus principales exponentes de la ciencia.

Se propone entonces un meta-relato sobre la naturaleza del concepto de pureza, el cual transcurre desde su relación con el concepto de sustancia química, su reestructuración a lo largo de la historia de la química debido a las investigaciones sobre la composición de la materia y debido al desarrollo de experiencias de laboratorio (avance en equipos y técnicas de purificación) así como por el reconocimiento social de su utilidad a nivel comercial e industrial. Se resalta a nivel epistemológico la dualidad del concepto ya que presenta una visión ideal considerada como un modelo frente a una representación real considerando la pureza como un adjetivo que ayuda en el campo comercial a no confundir una sustancia de una mezcla (Fernández-González, 2015), empleándose el adjetivo de pureza para determinar un alto porcentaje de una sustancia en comparación de otras presentes (Caamaño, 2015).

Relación del concepto de pureza y sustancia química

Raviolo, Garritz y Sosa (2011) resaltan dentro de la disciplina de la química los conceptos y definiciones de sustancia y reacción química ya que estos se presentan en su definición, mencionando las siguientes: “la química es el estudio de sustancias y sus transformaciones en otras sustancias” (tomado de Benfey 1963, citado por Raviolo *et al.*, 2011) y “la química estudia la composición, estructura y propiedades de las sustancias y las reacciones por las cuales una sustancia se convierte en otra”. De igual forma Brock (1992) sugiere que “La química es una ciencia tanto cualitativa como cuantitativa, que se ocupa del análisis de los materiales, de sus propiedades y de su explicación”.

En autores de la filosofía de la química se cita la propuesta expuesta por Chamizo (2009), quien sugiere que la química como campo de conocimiento donde se estudia, practica y se transmite cómo transformar la materia, llevado a cabo con un método particular y con un lenguaje propio, y Psarros (1998, citado por Vivas-Reyes, 2008) propone que “la Química es el estudio de los elementos y de los compuestos que estos forman y sus transformaciones. Se ocupa principalmente de los efectos que dependen de los electrones más externos de los átomos”.

En la historia de la química, tanto antes como después de consolidarse como una disciplina ante la comunidad científica, Brock (1992) menciona a ciertos científicos que aportaron al estudio y la comprensión de la composición de la materia. Aristóteles (en griego Ἀριστοτέλης) (384 a.C-322 a.C) discutió la composición elemental de la materia postulando el modelo de los cuatro elementos (tierra, agua, fuego y aire), por su parte Empédocles (en griego Ἐμπεδοκλής) (495 a.C-435 a.C) expuso la teoría de la guerra entre opuestos o ácido – alcalina para comprender las transformaciones en la naturaleza, siendo luego utilizada por la iatroquímica para explicar procesos fisiológicos.

En el siglo XVI Theophrastus Phillippus Aureolus Bombastus van Hohenheim conocido como Paracelso (1493-1541) caracterizado por su mezcla de racionalismo, empirismo y ocultismo, postuló la teoría de la *tria prima*, donde expuso que las sustancias tenían un cuerpo (sal), un alma (azufre) y un espíritu (mercurio), las cuales daban forma a los cuatro elementos Aristotélicos. Además de ello, fue pionero del desarrollo del estudio de la iatroquímica, movimiento que proponía la relación entre la química y la medicina y la producción de los *alcana*, considerados como remedios químicos.

Por su parte el iatroquímico Jan Baptiste van Helmont (1580-1644) considerado como el “filósofo del fuego”, no estando de acuerdo con las teorías antes mencionadas, expone la existencia de dos principios de los cuerpos, el agua y el fermento o el principio organizativo activo, considerando como elemento último al aire. Sus experimentos considerados como netamente cuantitativos se respaldan a partir del proceso de las soluciones de materiales sólidos en álcalis o ácidos, marcando una pauta para el método experimental; también trabajó sobre el estado gaseoso al que llamó “*chaos*” (carentes de forma) lo cual se generaba por la pérdida del fermento, siendo el aspecto diferenciador con respecto al aire.

Junto a esta visión de relación de la medicina con la química se encuentra la antes mencionada teoría ácido-alcalina con la cual explicaban procesos biológicos como la digestión, bilis, jugos gástricos y pancreáticos. Uno de sus expositores fue Otto Tachenio (1610-1680), quien manifestaba que las propiedades y comportamientos de las sustancias radicaban en su acidez o alcalinidad; la solidez de dicha teoría dualista no perduró debido a que no se expuso una definición concisa de los conceptos de ácido y de álcali. Dichas visiones acerca del estudio de la composición y comportamiento de la materia, quedan refutadas en 1660 por la aceptación contundente en la Royal Society de la filosofía mecanicista desarrollada por René Descartes (1596-1650), Robert Boyle (1627-1691) e Isaac Newton (1643-1727).

Uno de los integrantes de la Royal Society, fundada en 1661, lector de literatura alquímica, teólogo y filósofo naturalista, Robert Boyle, apoyaba la teoría de los *minima naturalis* considerada como la mínima partícula de la química, así como la teoría de la Pneumática de Herón de Alejandría (10 d.C-70 d.C), publicada en 1575, donde se consideraba una teoría atomista, explicando la presencia de pequeños vacíos intercalados entre partículas, logrando vincular así el calor como resultado de la agitación de dichas

partículas. Boyle se basaba también en los trabajos de Pierre Gassendi (1592-1655) quien trató una teoría mecanicista en términos de átomos o corpúsculos inspirado en Epicuro (341 a.C-270 a.C) y en Lucrecio (94 a.C – 56 a.C).

Su obra más importante en sus estudios fue *The Sceptical Chymist* publicada en 1658, donde declaró objeciones y críticas a teorías ya establecidas. Una de ellas fue a la teoría de los cuatro elementos debido a que, en la parte experimental, luego de una descomposición, se podían obtener menos o más sustancias y analizar que dichos productos eran complejos más no elementos; igualmente afirmaba la influencia significativa en los resultados por los métodos de análisis utilizados (fuego, destilación o disolución en ácido) con los productos obtenidos, teniendo la claridad de que es por medio de la reacción que se conoce la composición de los cuerpos.

De la misma manera estudió la teoría ácido–alcalina aportando una clasificación a las soluciones ácidas, alcalinas y neutras con lo que se desarrolla la teoría de las sales, siendo un punto de partida para el estudio de la composición de la materia elaborada por Antoine Lavoisier en el siglo XVIII. Formuló que “las propiedades químicas dependían de la manera en que estuvieran dispuestas las partículas que componían un cuerpo para reaccionar con las de otros” (Brock, 1992, p. 71).

^ Esprits acides. ▽ Terre absorbante. O Cuivre. ⚡ Soufre mineral. [Principe
 ☉ Acide du sel marin. ⚗ Substances metalliques. ♀ Fer. ⚗ Principe huileux ou Soufre
 ☉ Acide nitreux. ☿ Mercure. ♂ Plomb. ♀ Esprit de vinaigre.
 ☉ Acide vitriolique. ♄ Regule d'Antimoine. ♁ Etain. ♀ Esprit de vin.
 ☉ Sel aleali fixe. ☉ Or. ♁ Zinc. ☉ Sel. [destin
 ☉ Sel aleali volatil. ☿ Argent. ♂ Pierre Calaminaire. ♀ Esprit de vin et Esprit ac

GRÁFICO 1: tabla de afinidades realizada por Geoffroy.

Según Raviolo (2011) y Garritz *et al* (2013) el primer científico en hablar de sustancia fue Ettiene François Geoffroy (1772-1844), quien, en 1718, expuso una “tabla de afinidades” en la Real Academia de Ciencia en París, considerada como un punto de referencia para el estudio de la química durante el siglo XVIII. Dicha tabla se estructura en 16 columnas, encabezadas por sustancias de referencia que se representaron con símbolos, aparte de reaccionar o presentar afinidad con las sustancias indicadas debajo de estas, es decir las indicadas en una misma columna. Se afirma ser el resultado de la práctica experimental y el conocimiento de metalúrgicos y farmacéuticos (Ver gráfico 1).

Destaca en este momento de la historia de la ciencia, la definición de elemento químico propuesta por Boyle en 1661, siendo la base para la sistematización de los mismos, realizada por Lavoisier a finales del siglo XVIII quien los llamó “cuerpos simples” además de ser el sustento teórico para la posterior sistematización realizada por Dmitri Mendeleiev (1834-1907) luego de que Stanislao Cannizzaro (1826-1910) aportara a la solución del asunto de los pesos atómicos.

Lavoisier ofrecería argumentos en apoyo al análisis químico orgánico al cuantificar el carbono e hidrógeno en procesos de combustión. Sus observaciones y resultados fueron publicados en su famosa obra *Traité elementaire de chimi* en 1789.

En las publicaciones antes mencionadas se postulaban las sustancias menos complejas para analizar y caracterizar, es decir las elementales o típicas, por lo que se apartan de las sistematizaciones los aceites vegetales y animales, aleaciones, bálsamos,

140.
TABLA DE LAS SUSTANCIAS SIMPLES.

Nombres nuevos.		Nomb. antiguos á q corresponden.	
	Luz.	Luz.	Calor.
Substancias simples que pertenecen á los tres reinos, y que pueden mirarse como elementos de los cuerpos . .	Calórico.	Principio del calor.	Fluido igneo.
		Fuego.	Materia del fuego y del calor.
	Oxígeno.	Ayre deflogisticado.	Ayre empíreal.
		Ayre vital.	Base del ayre vital.
	Azoeto	Gas flogisticado.	Mofeta.
	Hidrógeno.	Base de la mofeta.	Gas inflamable.
Substancias simples no metálicas oxidables y acidificables.		Base del gas inflamable.	Azufre.
	Azufre.	Azufre.	Fósforo.
	Fósforo	Carbon puro.	Carbon puro.
	Carbon	Desconocido.	Desconocido.
	Radical muriático.	Desconocido.	Desconocido.
	Radical fluorico	Desconocido.	Desconocido.
	Radical borácico	Antimonio.	Antimonio.
	Antimonio.	Plata.	Plata.
	Plata	Arsénico.	Arsénico.
	Arsénico.	Bismuto.	Bismuto.
Bismuto.	Cobalto.	Cobalto.	
Cobalto.	Cobre.	Cobre.	
Cobre.	Estiño.	Estiño.	
Estiño.	Hierro.	Hierro.	
Hierro.	Alabandina.	Alabandina.	
Alabandina.	Mercurio.	Mercurio.	
Mercurio	Molibdeno.	Molibdeno.	
Molibdeno	Níquel.	Níquel.	
Níquel.	Oro.	Oro.	
Oro.	Platina.	Platina.	
Platina.	Plomo.	Plomo.	
Plomo.	Volfrán.	Volfrán.	
Volfrán.	Zinc.	Zinc.	
Zinc.	Cal.	Tierra calcárea, cal.	
Cal.	Magnesia.	Magnesia, base de la sal de Epsom.	
Magnesia.	Barrita.	Barrita, tierra pesada.	
Barrita.	Alumina.	Azúcar tierra del alambique, base del gálico.	
Alumina.	Silice.	Tierra silicea, tierra vitrificable.	
Silice.			

GRÁFICO 2: tabla de nomenclatura realizada por Lavoisier.

cerámicas, raíces entre otras mezclas, ya que, al realizar una destilación de una de ellas, se encontraba una serie de sustancias y submezclas, siendo algunas de éstas posteriormente consideradas como objeto de estudio de la biología.

Además de ello las sustancias allí organizadas se caracterizaban por haber sido sometidas a análisis, síntesis y formar compuestos binarios, presentando transformaciones químicas no complejas, así como la mención de información semi-cuantitativa sobre su composición (proporción relativa de oxígeno de ácidos) y capacidad para formar ciertos compuestos, como propiedades químicas y físicas particulares (ver gráfico 2).

Dichas sustancias organizadas o sistematizadas en las tablas expuestas presentaban diferentes niveles de complejidad. El primer grupo no se había descompuesto por ningún medio químico (agua, álcalis, tierras, ácidos, flogisto) siendo mezclas primarias, el segundo grupo (metales, azufre, alcohol del vino) eran compuestos simples, que se podían descomponer con ciertas reacciones químicas, siendo el tercer grupo (aleaciones, sales, sulfuros metálicos, soluciones de agua) los que se lograban descomponer con gran facilidad.

Jons Jacob Berzelius (1779-1848) estudió las sustancias elementales al someterlas a reacciones químicas relativamente simples, combinándolas y obteniéndolas en su forma elemental (descomposición y recomposición), identificando así los componentes químicos esenciales, basando su análisis en la tabla de Lavoisier en donde se identifican las sustancias ya descritas.

A lo largo de la estructuración del conocimiento científico químico se amplía su objeto de estudio e investigaciones, al pasar la denominación de sustancia al de especie química (Chamizo, 2015), para profundizar en cuál es la entidad de la sustancia, el átomo o la molécula. Se consolida la idea que la molécula da la regularidad a la sustancia química, teniendo dicha visión una extrapolación con su naturaleza cuántica, al estudiar los átomos que conforman las moléculas y de dicha estructura molecular derivar las propiedades de la sustancia. Así pues, la idea de sustancia se relaciona con la definición de molécula expuesta por Sevan *et al* (2015) quien afirma que “la naturaleza química de una molécula compuesta depende de la naturaleza y la cantidad de sus constituyentes elementales y de su estructura química” (p.13), de esta manera se especifica la sustancia desde su fórmula y estructura.

Cambio de la definición conceptual de pureza a lo largo de la historia de la química

En el siglo XVIII se describe un significado para el concepto de pureza considerado como sustancias químicas individuales, fáciles de identificar y que no están contaminadas con otras sustancias. En 1800, los químicos sistematizan la composición cuantitativa de compuestos

en una práctica denominada estequiometría, donde se transforma dicho significado en un sentido moderno pasando a entenderse como “sustancias estequiométricas o daltónicas con una composición exacta, invariable cuantitativamente” (Klein, 2010, p. 58; Furió, Domínguez y Guisasola, 2012), o la expuesta por Brock (1992) como “la pureza requiere admitir que algunas sustancias son homogéneas porque poseen propiedades reproducibles en condiciones idénticas” (p. 160). En el siglo XVIII, en relación con las tablas de sistematización antes mencionadas, se reconoce a la sustancia pura como un sistema homogéneo como componente estable en las reacciones químicas, siendo el producto de una descomposición.

Las leyes de la estequiometría se desarrollaron con las actividades de los analistas del siglo XVIII con relación posterior a los debates de Louis Proust (1754-1826) y Claude Louis Berthollet (1748-1822), siendo los siguientes: formulación de la composición en porcentajes, aceptación de las proporciones definidas y la teoría de la composición de equivalentes, desarrollos generados por John Dalton (1766 – 1844), William Wollaston (1776-1828) y Joseph John Thomson (1856-1940) aportando cada uno en su área del saber respectivo (Brock, 1992).

Además de las definiciones anteriores para el concepto de sustancia pura, se menciona la expuesta por Jaap Van Brakel, 1997 (citado por Raviolo, 2011) como “una sustancia pura es una sustancia para la que las macro-propiedades (de una de sus fases), tales como la temperatura, densidad y conductividad eléctrica, no cambian durante un cambio de fase (como la ebullición de un líquido o la fusión de un sólido). O, de manera alterna, “las sustancias químicas puras son los productos relativamente estables de los nodos del análisis y la síntesis química en una red de reacciones químicas” aclarándose que puede ser considerada como un sistema homogéneo con un solo componente no fraccionable, ya que una disolución también es homogénea, pero con composición variable. En otras palabras, la sustancia es una composición elemental y la mezcla una composición sustancial (Caamaño, 2015).

Por otro lado, se encuentra la postura de ser la sustancia pura a nivel macroscópico, una sustancia que funde o hierve a una temperatura constante, contrastado con el hecho de que en la realidad se manipulan sustancias con cierto grado de pureza (por ejemplo, carbonato de calcio con 80% de pureza). Sosa (1999) declara todos los materiales como mezclas de sustancias, indicando la pureza la proporción de cada una; cuando una de estas tiene un porcentaje significativo para fines prácticos se dice que está pura, considerándose por ejemplo que el cobre es puro con un 99,98% de pureza. Su definición a nivel nanoscópico sería “una sustancia es pura cuando está formada por el mismo tipo de moléculas” pudiendo ser de tres tipos: su representación “nano” o atómica (gases nobles) molecular (H₂O) e iónica (NaCl, Fe).

De acuerdo con Raviolo (2008) “una sustancia es materia homogénea de composición fija que posee propiedades específicas que la diferencian de otras”, y con respecto al concepto de pureza declara que “una sustancia es pura cuando todas sus moléculas tienen la misma composición”; resaltando como la más acorde “una sustancia pura es una sustancia formada por un solo tipo de moléculas” (p. 316).

Uso del concepto de pureza en la disciplina química: modelo ideal-teórico vs real-operativo

El estudio de la individualización e identificación de sustancias químicas puras o únicas, por estudios de composición y descomposición de compuestos binarios, inicia desde un

siglo antes de la Revolución química, estudios que se realizaron colaborando directamente la industria e innovación tecnológica, como lo era en su momento el caso de la fabricación de la cerámica, aleaciones, agua mineral, licor, pólvora y tinta entre otros productos.

Sin embargo, la teoría de sustancia pura, se conoce en la comunidad europea hasta 1750, cuando se logra la separación de sustancias orgánicas, mezclas, compuestos no estequiométricos, y materiales biológicos (vegetales y animales). Se encontró que en estos procesos de separación se presentaban grandes transformaciones en subproductos, siendo difícilmente clasificados por una composición química específica.

Dicho problema logra disminuirse en ámbitos de la química orgánica y la mineralogía alrededor de 1830, con el trabajo investigativo de Jons Jacob Berzelius y sus colaboradores, debido al uso de las fórmulas berzelianas para modelar las reacciones químicas orgánicas, usando para ello instrumentos innovadores y avances en el análisis orgánico cuantitativo.

La química clásica fue caracterizada por un fuerte trabajo en el área experimental (exceptuando las teorías y modelos de la química orgánica en el siglo XIX), pasando luego del tiempo a presentar un panorama fuertemente teórico con el estudio de la química cuántica y computacional en el siglo XX; sus estudios dependían de su tecnología, epistemología y metodología. La comunidad se centró en la investigación sobre las sustancias materiales desde una visión de su utilidad, como la síntesis y análisis de sustancias químicas puras, a partir de reacciones químicas, especificando sus componentes y posibles reagrupaciones, es decir que buscaban comprender sus transformaciones particulares.

Durante el siglo XVIII los estudios de la química se interpretaban desde un nivel netamente macroscópico, donde había un sinnúmero de métodos para identificar y clasificar las sustancias materiales por medio del análisis, la síntesis, las pruebas en reacciones y experimentos (ver apartado IV). Estas investigaciones en la comunidad promovieron la publicación de la tabla de afinidades, mencionadas en el apartado I, por Ettiene François Geoffroy y posteriormente por las propuestas de una sistemática para denominar las sustancias (nomenclatura química), trabajo realizado por Antoine Lavoisier y sus colaboradores (Louis Bernard Guyton de Morveau, Claude Louis Berthollet y Antoine François de Fourcroy), quienes seleccionaron aquellas que se comportaban de manera estable y activa selectivamente en procesos de descomposición y recomposición en un compuesto químico.

Además de ello, esta propuesta favoreció una definición operativa de sustancia química pura y de procesos de identificación con su composición química, relacionándola con propiedades como color, sabor y consistencia, siendo casi todas las sustancias incluidas en la “tabla de elementos” de Lavoisier, elementos químicos y compuestos estequiométricos (aunque esta noción era desconocida para los científicos del siglo XVIII).

La teoría del atomismo y corpuscular no era tenida en cuenta en el ámbito experimental; los encargados de su estudio eran los filósofos del dicho siglo. Cuando se inicia el cambio hacia dicha teoría, se crea la necesidad de formular, de buscar proporciones cuantitativas en el área de la química orgánica, transformando la forma de identificar e interpretar las sustancias y las reacciones químicas.

El concepto de sustancia pura tiene una historia conceptual y material. Klein (2012) realiza un estudio de su historia desde la filosofía Paracelsiana (siglo XVII) hasta el concepto de sustancia estequiométrica pura (siglo XX). Paracelsus Nicaise Le Febvre (1615 – 1669) escribió un tratado de la química titulado “*Of the pure substances extracted out of Mixts*”, donde menciona a las sustancias puras como esencias, elixires, alcanas, determinando

como impureza al contenido o cuerpo que las contiene además de construir una visión operacional y una natural del concepto. La visión operacional se relaciona directamente con el proceso de destilación, denominando a sus componentes “*caput mortuum*” y espíritus destilados, siendo estos últimos las sustancias puras. Una visión filosófica natural de las mismas, se tenía al afirmar que una sustancia alcanza su más alto grado de pureza cuando se espiritualiza en la naturaleza del fuego, aclarando que este punto sublime no es el propósito del trabajo de los químicos.

El uso del concepto de pureza de manera ideal se puede indicar que inicia con los alquimistas al referirse éstos al metal oro como el estado puro de la materia y al proceso de transmutación como purificación. La alquimia se define como la doctrina de la transmutación, sumándose a ésta la idea de Paracelso, en la cual se considera que dichas transformaciones “abarcan cualquier proceso de metamorfosis, incluyendo hasta los procesos de digestión” (Brock, 1992, p. 57). Garritz *et al* (2013) afirma que fue precisamente Paracelso, en el siglo XVI quien generó el término de pureza, relacionado con la destilación y la distinción operacional entre el “*caput mortuum*” siendo las sustancias impuras y los “*espíritus destilados*” las sustancias puras.

En dicho periodo alquímico se define la tarea del médico como la acción de separar la esencia pura de lo impuro de las sustancias inorgánicas a través del fuego y/o destilación, así el iatroquímico debía saber reconocer y preparar remedios con determinadas propiedades repetibles, es decir preparar y vender alcanas puros. Es por ello, que se reconoce en el siglo XVII la relación directa del concepto de sustancia con su utilidad, y que su esencia pura, era una parte tan sutil, que su ingreso al cuerpo era muy fácil de obtener, siendo por ello dicha esencia muy buscada y utilizada para la fabricación de remedios e insumos para el avance significativo de la industria farmacéutica.

Según Chamizo (2009) el análisis de las sustancias asociado al concepto de pureza ha sido una inclinación para los químicos e incluso para los alquímicos, en el quehacer de la separación de las partes que constituyen una sustancia no pura hasta donde sea posible; para ello se presenta la necesidad y desarrollo de diferentes técnicas de separación y purificación, una vez implementados, el científico debía aislar y distinguir los materiales, como especificar un cierto grado de pureza (Bachelard, 1976), teniendo dependencia directa su identificación con las técnicas de caracterización de impurezas. De esta manera, la garantía de pureza reside en la aplicación rigurosa de métodos, afirmándose por ello la sustancia pura como un modelo, ya que su realidad no reside en su existencia sino en cómo es conocida.

Fernández-González (2015) afirma que para desarrollar una visión epistemológica sobre el concepto de pureza se debe realizar una división conceptual desde lo idealista/teórico y lo real/operativo. Es decir, que dentro de la disciplina de la química se maneja una definición rigurosa teórica, entendiéndose a la sustancia pura desde una visión ideal, con relación al concepto de fórmula química, y uno real en la cual se relaciona con el concepto antagónico de mezcla. Dicho carácter ideal lo analiza desde la misma perspectiva Chamizo (2015), al expresar que cuando se hace referencia sobre el H₂O como sustancia pura, se debe analizar como una mezcla homogénea con una diversidad superabundante de sustancias, al considerar 11 de los 18 posibles isotopólogos (identidad molecular que difiere en su composición isotópica) de la misma.

Concluye que el concepto de pureza empleado en los manuales de laboratorio, a pesar de que se exhiba el producto con una fórmula química única y un porcentaje de 100,

se presenta en todo producto ciertos porcentajes por mínimos que sean de otros elementos y compuestos, lo que se cataloga como una mezcla cuasi-ideal. No sin antes, se resalta el uso del concepto de pureza en el ámbito real ya que permite según Pauling en 1949 (citado por Fernández-González, 2015) concebir la sustancia pura como un final de un proceso antropogénico, siendo sus propiedades regulares, si las impurezas están presentes en pequeñas cantidades.

Caamaño (2015) resalta el uso determinante del concepto de sustancia tanto en la disciplina de la química como en la vida cotidiana. En lo cotidiano menciona que muchas veces se confunde su significado con el de disolución, siendo la sustancia catalogada como cualquier material con propiedades específicas y la disolución como una mezcla homogénea. Así pues, dentro del ambiente científico para evitar dichas ambigüedades se utilizan dos adjetivos para el término sustancia siendo los de sustancia química y sustancia pura.

El significado de sustancia química hace referencia a dos niveles, el macroscópico o fenomenológico considerando las interacción de las sustancias consigo mismas y con otras sustancias de forma tan purificada que no importa que no sea teóricamente pura, siendo fenómenos de extensión del material (Sevian *et al.*, 2015) y el nivel microscópico al declararse que es materia con propiedades físicas determinadas, como composición atómica y molecular constante, siendo su realidad macroscópica la que se vincula en su enseñanza (Caamaño, 2014). Su adjetivo se considera como un complemento para afirmar que es una definición desde la química y no la existencia de sustancias no químicas.

Ahora bien, con el uso del adjetivo de sustancia pura se encuentra una doble controversia al permitir deducir que existen sustancias impuras (Raviolo, 2008), siendo así no una sustancia, sino una mezcla de sustancias. El término de sustancia pura es ideal, al no existir en la realidad un porcentaje de pureza del 100%, sin negar un alto grado de pureza en ciertos productos químicos (Sevian *et al.*, 2015). Así, su uso hace referencia a dos tipos de sustancia: uno ideal, y otro, por la existencia de un producto con tan elevado porcentaje de una sustancia en particular que merece dicho adjetivo, es decir el real.

En este mismo sentido de analizar la confusión que puede desarrollar el adjetivo de pureza dentro del concepto de sustancia, se destaca lo redundante que puede llegar a ser en el plano de lo ideal, ya que en dicho panorama una sustancia química será pura, rescatando que su uso en la vida cotidiana ayuda a la no confusión de mezcla con sustancia. Sin embargo, se presenta un problema frente a su uso en ámbitos como los medios de comunicación, al utilizarse para confirmar la naturaleza de un producto como lo es un alimento o el buen estado del aire o suelo, ya que se utiliza para describir y definir mezclas más no sustancias.

En una visión moderna desde un plano cuantitativo, que inicia sus estudios en el siglo XIX, con la designada estequiometría, las sustancias químicas puras se dividen en dos grupos, elementos químicos y compuestos químicos puros, siendo estos últimos constituidos por elementos en una composición cuantitativa definida e invariable, representada por medio de una fórmula química.

El estudio de la estequiometría, iniciará luego de la llamada Revolución química, con científicos como Jeremias Benjamin Richter (1762-1807) y el químico francés Louis Joseph Proust (1754-1826), destacándose el producto de sus investigaciones en la síntesis química de nuevos compuestos químicos puros tales como los alcaloides (morfina y cafeína), prontamente siendo aplicados en la industria sintética y tecnológica y con importantes impactos sociales. Quizás fue la rama de la química orgánica establecida entre 1830 y 1840

la que proporciona los medios conceptuales, simbólicos e instrumentales para extender enormemente el ámbito de los compuestos estequiométricos orgánicos puros, iniciándose así una nueva epistemología de la química en su propósito de reflexionar sobre una ciencia cuyo objeto de estudio son las sustancias puras.

Técnicas de separación y purificación: vínculo del análisis químico con el concepto de pureza (visión real/operativa)

Para la comprensión de la actividad científica química y con el objetivo de estudiar la descomposición y recomposición de la materia descrita en los trabajos del apartado I, se debe observar y analizar el avance del análisis químico durante los siglos XVIII y XIX en paralelo a la invención y desarrollo de diferentes instrumentos de laboratorio, además del desarrollo de técnicas novedosas de purificación y síntesis de reactivos.

Según Georg Stahl (1659-1734) (citado en Brock, 1992), el análisis químico se entendió como “el arte por el que las sustancias compuestas puras se descomponen en sus componentes puros” o como lo expresó Tobern Olof Bergman (1735-1784) al referirse al análisis como una rama separada de la química y resaltar que la técnica primitiva del análisis químico data del análisis por vía húmeda, pero que el análisis tal como lo conocemos inicia en la época de la Edad Media cuando se disponen de ácidos minerales. Afirmaba también que, en la materia, al no tratar con transformaciones reales de forma y cualidades, debería haber en ella candidatos químicamente invariables para las rutinas de identificación, por lo que se halla afinidad con la filosofía corpuscular.

En la historia del análisis químico la balanza está en la cima de la lista de instrumentos a resaltar, siendo el objetivo dentro de su evolución que la pesada sea más rápida y precisa. Se continúa con el mechero de gas creado por Wilhelm Bunsen (1811-1899), el crisol filtrante por Frank Gooch (1852-1929), la bureta, pipeta y pipeteador por Louis Gay-Lussac (1778-1850) y Henri Descrozzilles (1751 – 1825), los tubos de Nessler por Julius Nessler (1827-1905), los comparadores de colores por Hermann Muller (1890-1967) y el viscosímetro de Friedrich Wilhelm Ostwald (1853-1932).

Además de los instrumentos de laboratorio se lista una serie de tipos de análisis químicos encabezados por sus autores históricos más relevantes: gravimétrico con Torbern Olof Bergman (1735-1784), volumétrico con Louis Bernard Guyton de Morveau (1737-1816) y Joseph Louis Gay Lussac (1778-1850) y óptico con Robert Wilhelm Bunsen y Gustav Kirchoff (1824-1887), espectroscopia con Johann Heinrich Lambert (1728-1777) y August Beer (1825-1863), por la leyes analíticas de Jules Duboscq (1817-1886) inventor de equipos para medir densidad del color, Julius Nessler (1827-1905) por las series de patrones, John Frederick William Herschel (1792-1891) y William Henry Fox Talbot (1800-877) con espectros de llamas, entre otros.

Para la consecución del análisis elemental, se consideran significativos diferentes métodos analíticos desarrollados entre ellos el realizado por Justus von Liebig (1803-1873) por el diseño en 1831, de un sistema para llevar a cabo la combustión de muestras. La determinación del contenido de nitrógeno en sustancias orgánicas no se consiguió con resultados satisfactorios hasta que Jean-Baptiste-André Dumas (1800-1884) mejoró la técnica en 1831 y cuando se logró el análisis del nitrógeno proteínico con el método de Johan Kjeldahl (1849-1900). El primer método para la determinación de azufre en sustancias orgánicas fue propuesto en 1830 por los franceses Henry y Plisson entre 1860

y 1870, y el químico alemán Georg Ludwig Carius (1829-1875) desarrolla un método que permite determinar azufre y halógenos en sustancias orgánicas.

Friedrich Emich (1860-1940), quien ejerció como profesor durante varias décadas, contribuyó decisivamente al desarrollo de las técnicas microquímicas, y particularmente al microanálisis inorgánico. Así, Emich, en colaboración con J. Donau, había desarrollado en 1909 el primer método de microdeterminación de halógenos. Aunque Emich es considerado uno de los pioneros de la microquímica, el término microanálisis va unido indisolublemente al nombre de Fritz Pregl (1869-1930).

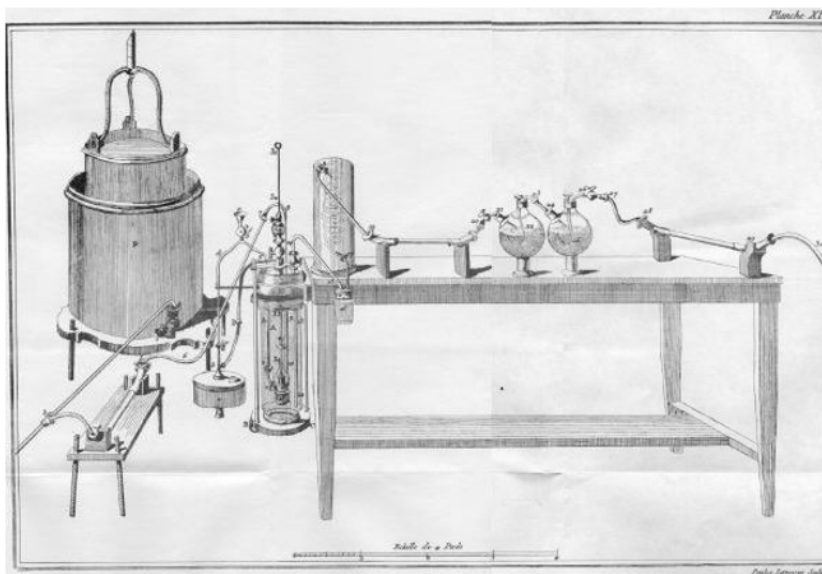


GRÁFICO 3: sistema de combustión realizado por Liebig.

Pregl introduce en el área de análisis químico el trabajo microanalítico, resaltándose en su trabajo no sólo los instrumentos, pasos investigativos y montajes, sino la forma de reconocer los errores que pueden ser desapercibidos en el macroanálisis y su solución dada. Considerado como un científico solitario, dedicado, e imaginativo, ahorró una suma de dinero la cual la donó en 1931 para ser otorgado el premio Fritz Pregl a los que contribuyeran en el área de la microquímica en el país de Australia. La evolución y precisión en su trabajo innegablemente tiene relación con el desarrollo de diferentes instrumentos de laboratorio que facilitaron sus análisis, entre ellos se menciona la construcción y uso de la microbalanza de Frédéric Kuhlmann (1803-1881).

Dicho trabajo micro lo desarrolla como herramienta a su trabajo de médico forense en 1907 y la necesidad presentada de analizar fluidos en pocas cantidades. Pregl ganó entre otros premios, el nobel de la química en 1923 por sus aportes a dicha área de la disciplina.

Ahora bien, desde el conocimiento de la alquimia, encargada de la transmutación de los metales impuros e imperfectos hacia el metal de oro puro, se resaltan diferentes medios de purificación en las cuales se hacía un cambio de coloración en el inicial: melanosis (ennegrecimiento), leukosis (color blanco), xantosis (amarillo) y iosis (púrpura) utilizando para ello instrumentos como crisoles, morteros, almireces, embudos, tamices, hornos, alambiques, redomas, baños, entre otros. Se trata de procesos de laboratorio que luego en la química han desarrollado investigadores de la historia de la ciencia como Frederick Hopkins (1861-1947).

Se resaltan desde esta visión métodos como la filtración, extracción o decantación, sublimación y destilación, como se indica a continuación, ejemplificado en las siguientes imágenes de montajes alquimistas encontradas en el manuscrito *Parisianus* (tomado de Santos, 2006).

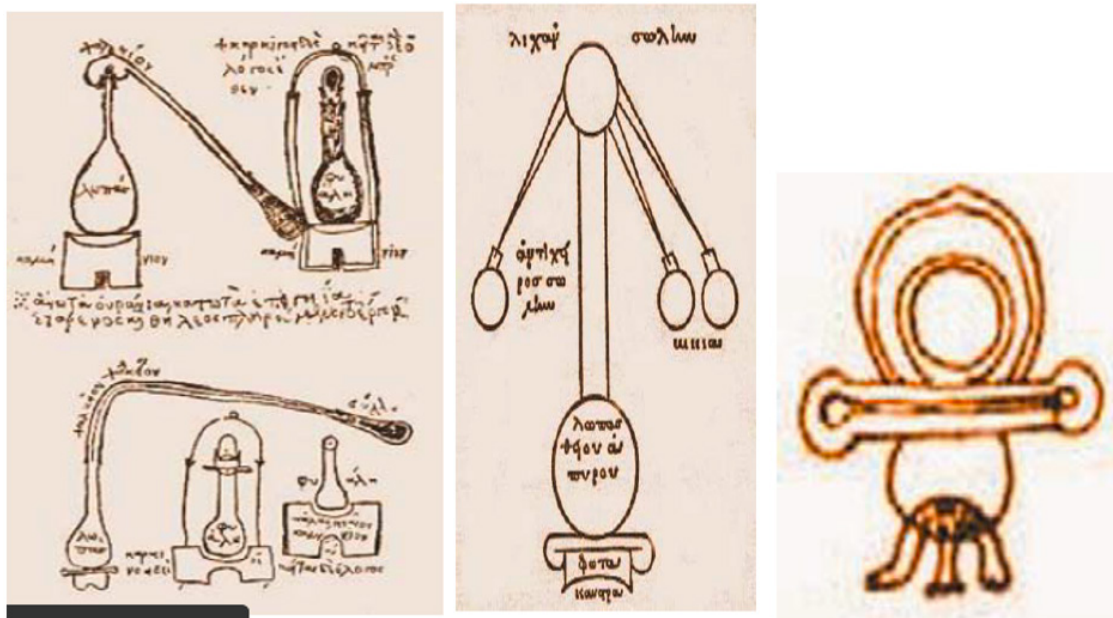


GRÁFICO 4: a) Diferentes instrumentos para destilación y otras operaciones. b) Instrumento tribikos para destilaciones c) instrumento de sublimación y extractor de flujo.

Los ingleses usaban un recipiente en forma de copa para comprobar la calidad de un mineral o cualquier otro material denominado con los términos de test y to test. El farmacéutico sueco Carl Wilhelm Scheele (1742-1786) en el siglo XVIII tenía en cuenta la cristalización, punto de ebullición, solubilidad y punto de fusión, enfatizado éste último por los analistas Pierre Macquer (1718-1784), Tobern Bergman y Martin Klaproth (1743-1817) como garantía cualitativa de un producto.

Además de los métodos mencionados de purificación se encuentra a finales del siglo XVII el lavado y secado de precipitados realizado por los químicos Robert Boyle, Otto Tachenio y Roald Hoffmann (1937-), además del uso en la industria metalúrgica de la pipeta como herramienta para el análisis cuantitativo y en la industria textil para la valoración como técnica del análisis húmedo.

Otras maneras de generalizar de manera operativa en el mercado industrial la obtención de un material en estado puro, eran los procesos tradicionales que se realizaba a diferentes metales, por ejemplo, para las muestras individuales de oro se podría amalgamar con mercurio a pesar de sus impurezas y luego separarse mediante destilación, o el cobre al disolverse en ácido nítrico y luego obtenerse al precipitarse con hierro; dichos experimentos eran considerados como una reacción de desplazamiento en el siglo XVIII.

Chamizo (2015) caracteriza a la cuarta revolución química como un escenario enriquecido por instrumentos de laboratorio lo que favorece el avance científico, siendo la precisión del concepto de sustancia y su pureza uno de sus resultados. Es precisamente dicho adjetivo redefinido a partir del avance experimental lo que a su vez promueve el desarrollo químico. Debido al desarrollo de técnicas como la espectroscopia de ultravioleta-visible; la espectroscopia de infrarrojo, la resonancia magnética nuclear de ^1H y la espectrometría

de masas, ya no es necesario para la identificación de nuevas sustancias, tenerlas en un estado de alta pureza junto con una cantidad significativa, ya que con una mínima cantidad y en su análisis estar presente como mezcla, se logra determinar su estructura molecular; dejando así de lado el laborioso ejercicio de pasos de análisis, muy generalizados en varios momentos históricos de la química, como lo era para la determinación del punto de ebullición y fusión, estudios sobre la solubilidad, el análisis elemental y la reactividad.

Elaboración de los manuales y/o protocolos de laboratorio: relación comercio-industrial

Claramente la pureza tiene una utilidad directa a nivel industrial y comercial, al tenerse que desarrollar un control para evitar la falsificación y la adulteración de los productos dirigidos por una gobernación, garantizando así su utilidad, calidad, y ser natural, saludable y no contaminado, debido a una necesidad de procesos de potabilización de agua para el abastecimiento de las grandes ciudades, fabricación de medicamentos y alimentos a nivel mundial y comercialización de reactivos con alto nivel de pureza.

En la minería, comercio, manufactura y laboratorios químicos se encontraba un problema debido a la variedad en las propiedades físicas (color, olor, textura, consistencia) y químicas que podría presentar una sustancia química, como por ejemplo el índigo, potasa, ácidos, acero, sales, minerales de cobre, hierro, oro (ya que debido a su propiedad natural no se produce en un estado puro) entre otros; causando grandes errores en la identificación como en su denominación en los departamentos centrales de minería, teniendo que saber manejar la inmensa diversidad de materiales que se llegaban a comercializar en la época.

Para la comprensión, comunicación y lenguaje en la comunidad química se requirió una sistematización de los compuestos y representación de las reacciones químicas que desarrollaban y estandarizaban en protocolos y manuales. Los científicos compraban los productos y reproducían su síntesis en los laboratorios para construir un manuscrito y superar el método realizado con anterioridad, con el propósito de hacerlo más económico, usando menor cantidad de reactivos y generar mayor eficiencia en velocidad, selectividad y sensibilidad.

En cuanto al lenguaje químico Berzelius introdujo la fórmula química en 1814 basado en la teoría atómica de John Dalton y las leyes de la estequiometría. Además del estudio de la estructura química seguido en 1858 con Archibald Scott Couper (1831-1892) y August Kekulé (1829-1896), sin embargo, en 1861 Alexander Mikhailovich Butlerov (1828-1886) expone que cada sustancia ha de tener una única fórmula química relacionada con su estructura para derivar todas sus características.

Se considera como el primer manual importante del análisis químico el publicado por Pfaff en 1824 en el que hacía uso abundante del ácido sulfhídrico. Además, de la descripción por primera vez de reactivos puros garantizados en 1888 por C. Kraush y los patrones de pureza de los productos de laboratorio en 1914 publicados por Henry Schenck en los Estados Unidos por la empresa química y farmacéutica Merck, junto con American Chemical Society (ACS) al realizar desde 1900 reuniones para discutir la pureza de los productos de laboratorio y en Gran Bretaña en 1934, el diseño de los patrones de pureza para los productos químicos llamados “AnalaR”. No sin antes mencionar que incluso en la iatroquímica, debido al uso de sustancias puras como remedios para la cura de enfermedades se intenta exponer su síntesis y/o preparaciones en protocolos por medio de las publicaciones de manuales, para lograr ser comercializados y estandarizados por la comunidad.

Conclusión

La construcción histórico-epistemológica sobre el concepto de pureza pretende ser un aporte investigativo desde la filosofía de las ciencias. Se caracteriza según los criterios estructurantes propuestos por Amador y Adúriz-Bravo (2017) como una investigación de evolución y juicio al evaluar el desarrollo de un concepto de la disciplina química, para erradicar visiones sincrónicas que trae el positivismo lógico y para reflexionar acerca del papel de la filosofía de las ciencias en la comprensión de las ciencias y de su enseñanza.

El saber meta-científico, reconocido como una construcción de conocimiento en torno a las ciencias como producto y como proceso, además de enriquecer el cuerpo conceptual de la didáctica de las ciencias y de la disciplina en particular, favorece concepciones coherentes con la ciencia y con sus modos de producción a la largo de su desarrollo histórico, permitiendo comprensiones más cercanas a la actividad científica, y promoviendo la voluntad y actitudes positivas hacia las ciencias al posibilitar la apropiación de modelos contemporáneos sobre la práctica docente, es decir que dicho panorama ayuda a mejorar y evolucionar el saber, el ser y el hacer del profesional de la enseñanza.

Las investigaciones didácticas de las ciencias experimentales y sus líneas investigativas sobre los objetos de conocimiento de las ciencias, vienen permitiendo asumir el trabajo de las comunidades académicas de educación en ciencias como una actividad investigativa, intelectual, experiencial, teóricamente fundamentada y de gran impacto social positivo, en la que se resalta como uno de sus propósitos promover el paso de la dimensión cognoscitiva de una postura de asimilación y netamente disciplinar, hacia una visión en la que se comprende la ciencia como actividad humana, no lineal y dinámica (Garritz, 2010).

En este contexto, la formación de profesores de ciencias podría estructurarse considerando la evolución de las ciencias en la cual se hacen inseparables la investigación científica y la investigación en la enseñanza de las ciencias, para lo cual, no basta con el conocimiento de modelos teóricos de las ciencias, sino en la cual es necesario desarrollar otros aspectos tales como comprensiones históricas sobre el trabajo de los científicos y de las comunidades científicas, los cambios en las metodologías de investigación y en los objetos de estudio de las ciencias, y sus implicaciones sociales y culturales. Ello reafirma la necesidad de incorporar en el estudio de las ciencias y de la didáctica de las ciencias, la historia, la filosofía, la epistemología y la sociología de las ciencias.

En el ámbito educativo, y concretamente en la educación en ciencias, al realizar dicha integración metateórica que da sentido a lo que llamamos naturaleza de las ciencias, surgen desafíos en la formación inicial y continua de los profesores de ciencias: la comprensión de la enseñanza de las ciencias como una actividad de investigación; la estructuración de conocimiento didáctico de contenido (CDC) al no centrarse su formación en el saber disciplinar sino en un saber holístico que permita un aprendizaje significativo, comprensivo y relevante de la disciplina, comprendiéndola desde una imagen cercana a una actividad social; la generación de un contexto eficaz para movilizar competencias profesionales docentes, la construcción de reflexiones epistemológicas ambientadas en la historia, la filosofía y la sociología; y el desarrollo de una imagen de ciencia realista y racionalista moderada en donde se destacan sus logros, pero también sus limitaciones y relación con contenidos de la disciplina, pedagogía y didáctica (Adúriz-Bravo, 2005).

Se trata de retos que, en su abordaje, permiten el progreso del campo de conocimiento de la didáctica de las ciencias, asunto que en la medida que se propicien aprendizajes cada

vez más relevantes y significativos de las ciencias, podría favorecer el incremento en el número de ciudadanos y de ciudadanas interesadas por los estudios y por la investigación científica.

Referencias

- Adúriz-Bravo, A. (2005). *¿Qué naturaleza de la ciencia hemos de saber los profesores de ciencias? Una cuestión actual de la investigación didáctica*. Técné, Episteme y Didaxis. (2º Congreso sobre formación de profesores de ciencias), p. 23 – 33. <https://didacticadelascienciasut.files.wordpress.com/2012/03/0018.pdf>.
- Alzate Cano M. V. (2009). Elemento, sustancia simple y átomo: tres conceptos problemáticos en la enseñanza y aprendizaje significativo de conceptos químicos. *Revista Educación Y Pedagogía*, 17(43), 177-193. <https://revistas.udea.edu.co/index.php/revistaeyp/article/view/6062>.
- Amador, R y Adúriz-Bravo, A. (2017). Concepciones emergentes de naturaleza de la ciencia (NOS) para la didáctica de las ciencias. X Congreso Internacional sobre Investigación en Didáctica de las Ciencias. Comunicación. España. p. 3499 - 3504. <https://www.raco.cat/index.php/Ensenanza/article/view/337111>.
- Brock, W. (1992). *Historia de la química*. Editorial Alianza. España.
- Caamaño, A. (2014). La estructura conceptual de la química: realidad, conceptos y representaciones simbólicas. *Revista Alambique. Didáctica de las Ciencias Experimentales*. V. 78. p. 7-20. https://www.researchgate.net/publication/280382987_La_estructura_conceptual_de_la_quimica_realidad_conceptos_y_representaciones_simbolicas.
- Caamaño, A. (2015). Una reflexión conceptual y lingüística en torno a las diferentes denominaciones de las sustancias químicas. *Revista Alambique. Didáctica de las Ciencias Experimentales*. p. 9 -16. España.
- Chamizo, J. A. (2009, 1 enero). Filosofía de la química: I. Sobre el método y los modelos. *Educación Química. Educación Química*, 20(1), 6-11. [http://dx.doi.org/10.1016/S0187-893X\(18\)30002-8](http://dx.doi.org/10.1016/S0187-893X(18)30002-8).
- Chamizo, J. A. (2017). La cuarta revolución química (1945-1966). De las sustancias a las especies químicas. *Educación Química*, 28(4), 202. <http://dx.doi.org/10.1016/j.eq.2017.07.001>.
- Chamizo, J, y Pérez, Y. (2017) Sobre la enseñanza de las ciencias naturales. *Revista Iberoamericana de Educación*, 74(1), 23- 40. <https://doi.org/10.35362/rie741624>.
- Díaz, C., Ariza, Y. y Adúriz-Bravo, A. (2016) La filosofía de la química como referencia epistemológica en la construcción de una “naturaleza de la ciencia” para la formación del profesorado de química. *Campo Abierto*, 35(2), 59-68. <https://bit.ly/2Ttuksn>.
- Fernández-González, M. (2015). Reflexiones epistemológicas sobre el concepto de sustancia pura. *Revista Alambique Didáctica de las Ciencias Experimentales*, 82, 24–31.

- Garritz, A. (2010). La historia como una herramienta para promover el aprendizaje. *Educación química*, 21(4), 266 -269. [http://dx.doi.org/10.1016/S0187-893X\(18\)30093-4](http://dx.doi.org/10.1016/S0187-893X(18)30093-4).
- Garritz, Sosa, Hernández-Millán, López-Villa, Nieto-Calleja, Reyes-Cárdenas y Robles. (2013). Una secuencia de enseñanza/aprendizaje para los conceptos de sustancia y reacción con base en la Naturaleza de la Ciencia y la Tecnología. *Educación química. México*, 24(4), 439 – 450. [http://dx.doi.org/10.1016/S0187-893X\(13\)72499-6](http://dx.doi.org/10.1016/S0187-893X(13)72499-6).
- Izquierdo, M, García, A, Quintanilla, M y Adúriz, A. (2016). Historia, filosofía y didáctica de las ciencias: Aportes para la formación del profesorado de ciencias. Editorial UD. Bogotá, Colombia. <https://bit.ly/3vz916B>.
- Klein, U. (2010). ¿con que experimentaban los químicos? Las sustancias materiales en la química del siglo XVIII. *Afinidades electivas monográfico*. p. 57 – 63.
- Klein, U. (2012). Objects of inquiry in classical chemistry: material substances. *Foundations of Chemistry*. 14(1), 7-23. <https://doi.org/10.1007/s10698-011-9122-0>.
- Moreno, L. (2015). La evolución histórica de la química y su utilidad didáctica. *Revista Anales de química*, 111(4), 230-238.
- Santos, S. (2006). Historia de la alquimia I. la alquimia griega. *Revista Anales de química*, 102(2), 60-67. <https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/2006402.pdf>.
- Sevian, H, Ngai, C, Szeinberg, G, Brenes, P y Arce, H. (2015). Concepción de la identidad química en estudiantes y profesores de química: Parte I – La identidad química como base del concepto macroscópico de sustancia. *Educación química*, 26(1), 13- 20. [http://dx.doi.org/10.1016/S0187-893X\(15\)72093-8](http://dx.doi.org/10.1016/S0187-893X(15)72093-8).
- Sosa, P. (1999). De palabras, de conceptos y de orden. *Educación Química*, 10(1), 57-60. <http://dx.doi.org/10.22201/fq.18708404e.1999.1.66508>.
- Raviolo, A. (2008). Las definiciones de conceptos químicos básicos en textos de secundaria. *Educación Química*, 19(4), 315 - 322
- Raviolo, A, Garritz, A y Sosa, P. (2011). Sustancia y reacción química como conceptos centrales en química. Una discusión conceptual, histórica y didáctica. *Revista Eureka sobre la Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 8(3), 240–254. <https://revistas.uca.es/index.php/eureka/article/view/2714/2362>.
- Vivas-Reyes, R. (2009). Filosofía de la química: un área ampliamente olvidada. *Rev. Acad. Colomb. Cienc.* 33(126),125-128. https://www.accefyn.com/revista/Vol_33/126/125-128.pdf.