

## El triplete químico. Estado de situación de una idea central en la enseñanza de la Química

*The chemical triplet. State of situation of a central idea in teaching chemistry.*

**Guillermo Cutrera**

Universidad Nacional de Mar del Plata

[guillecutrera@hotmail.com](mailto:guillecutrera@hotmail.com)

**Silvia Stipcich**

Universidad Nacional del Centro

[sstipci@exa.unicen.edu.ar](mailto:sstipci@exa.unicen.edu.ar)

### Resumen

La didáctica de la química ha encontrado en la propuesta del triángulo de Johnstone, un soporte teórico para la investigación sobre la enseñanza disciplinar. Esta propuesta permite indagar las relaciones entre las dimensiones observable-no observable del conocimiento disciplinar como también la relevancia del lenguaje y otras formas de representación en los procesos de enseñanza y aprendizaje de la Química. El triplete o triángulo propuesto por Johnstone ha dado lugar a variadas investigaciones en el campo de la didáctica disciplinar profundizando sus implicaciones teóricas y didácticas. En este trabajo presentamos la propuesta de Johnstone y nos detenemos en alguna de las discusiones actuales sobre la misma.

**Palabras clave:** Niveles de representación; didáctica de la Química.

### Abstract

The teaching of chemistry found in the proposed triangle Johnstone, a theoretical support for research on teaching discipline. This proposal allows to investigate the relationships between observable-unobservable dimensions of disciplinary knowledge as well as the relevance of language and other forms of representation in

the teaching and learning of chemistry. The triplet or triangle proposed by Johnstone has led to various investigations in the field of teaching discipline to deepen their theoretical and educational implications. In this paper we present the proposal Johnstone and stop at any of the current discussions on it.

**Key words:** Levels of representation; Teaching of Chemistry.

**Fecha recepción:** Mayo 2016

**Fecha aceptación:** Julio 2016

---

### Introducción

El aprendizaje de la Química exige a los estudiantes el desarrollo de procesos comprensivos para los cuales la propuesta de Johnstone ofrece una interpretación interesante. En efecto, y desde esta perspectiva, los estudiantes deben entender la convención para los tres niveles diferentes; realizar traducciones entre los niveles submicroscópico y macroscópico y ser capaces de construir una representación para un determinado fenómeno utilizando el nivel simbólico (Al-Balushi, 2013). El habla docente, en el contexto del nivel de representación simbólica adquiere particular relevancia para las prácticas de enseñanza (Becker, Stanford, Towns, & Cole, 2015). Este último, además, es extendido en su importancia didáctica a componentes no verbales (Gilbert, J., & Treagust, 2009c)

En este marco, la didáctica de la química ha encontrado en la propuesta del triángulo de Johnstone, un soporte teórico para la investigación sobre la enseñanza disciplinar. Esta propuesta permite indagar las relaciones entre las dimensiones observable-no observable del conocimiento disciplinar como también la relevancia del lenguaje y otras formas de representación en los procesos de enseñanza y aprendizaje de la Química. El triplete o triángulo propuesto por Johnstone ha dado lugar a variadas investigaciones en el campo de la didáctica disciplinar profundizando sus implicaciones teóricas y didácticas. En este trabajo presentamos la propuesta de Johnstone y nos detenemos en alguna de las discusiones actuales sobre la misma.

### **La propuesta de Johnstone.**

Johnstone (1991) sostuvo que una de las principales razones por las que la ciencia ofrece dificultad a los estudiantes es que supone el empleo de multiniveles de pensamiento. En el contexto de la Física, los estudiantes deben pensar en términos de fuerzas, ecuaciones matemáticas, transformadores y poleas; en Biología, utilizando entidades como células y animales; en Química deben pensar recurriendo a iones, moléculas, ecuaciones químicas, procesos observables. En todo caso, sostiene Johnstone, los estudiantes deben pensar utilizando diferentes niveles; más precisamente, deben utilizar tres niveles de pensamiento: macroscópico, submicroscópico y simbólico. Son numerosas las investigaciones que reportan dificultades en los aprendizajes debido a las exigencias del manejo simultáneo de estos niveles (véase Treagust, & Chandrasegaran, 2009). Van Berkel, Pilot & Bulte (2009) refieren a este inconveniente en términos de las perspectivas curriculares dominantes en la química escolar:

“The philosophy of mainstream chemistry curricula is that students need to climb a ladder: the understanding of interesting real-life phenomena can only be reached when a student understands the corpuscular “building blocks” of chemistry, the atoms and molecules. However, it takes a “long climb” for students to come to a point where interesting, relevant themes are dealt with; it requires more time than is available within the limits of the school chemistry curriculum.” (p. 32)

Gabel (1993, 1999) se refirió al triángulo de Johnstone como a una representación de los tres niveles en los que la química puede ser enseñada: sensorial (nivel macroscópico), átomos/moléculas (submicroscópico) y simbólico. Talanquer (2011) ha señalado la gran influencia que ha tenido este triplete en el contexto de la educación química en las tres últimas décadas. La idea de que el conocimiento químico se puede representar en tres formas principales -macro, submicro y simbólico-, sostiene este último, ha propuesto un cambio paradigmático en la enseñanza de la química; ha sido utilizado tanto como base de los marcos teóricos que guían la investigación en la enseñanza de la química, como idea central en diversos planes de estudio. Talanquer razonablemente sugiere que esta propuesta de

Johnstone sido una de las ideas más potentes y productivas en la educación en química durante los últimos 25 años.

Este carácter multirepresentational de la naturaleza de la química es una poderosa herramienta para interpretar los fenómenos naturales (Tsaparlis, Kolioulis, & Pappa, 2010) como también una potencial barrera para los aprendizajes:

“The psychology for the formation of most of chemical concepts is quite different from that of the ‘normal’ world. We have the added complication of operating on and interrelating three levels of thought: the macro and tangible, the submicro atomic and molecular, and the representational use of symbols and mathematics. It is psychological folly to introduce learners to ideas at all three levels simultaneously. Herein lies the origins of many misconceptions. The trained chemist can keep these three in balance, but not the learner.” (Johnstone, 2000b, p. 9).

La representación de los conceptos en química es multimodal, es decir, se trata de la combinación de más de un modo de representación. En consecuencia, el éxito de los aprendizajes de la química implica la posibilidad de asociaciones mentales entre los diferentes niveles de representación de los fenómenos químicos utilizando diferentes modos de representación (Chen & Gilbert, 2009).

Johnstone (2010) sostiene que la mayoría de las dificultades conceptuales, las concepciones alternativas identificadas por los investigadores en los últimos treinta años, serían producidas por la prematura introducción de niveles de representación diferentes al macroscópico. Georgiadou, & Tsaparlis (2000) advierten en este sentido:

“In the case of the macro level, it is possible to have direct concept formation, as in the case, for instance of recognising metals and non-metals, acids and bases, flammable substances, etc. In the case, however, of concepts like elements or compounds, molecules, atoms, or electrons, bonding types, we are at the submicro level and it is very difficult for concepts to form.” (p. 219)

En esta misma línea Savec, Sajovic & Grm (2009) recuperan los aportes de Gabel y Barke:

“Gabel (1999) further suggested that the primary barrier to understanding chemistry, however, is not just the existence of the three forms of representation, but is that chemistry instruction relies predominantly on the most abstract, the *symbolic*, type. As a strategy to overcome that problem, Barke (1997) proposed that in the learning process the three corners should be taught one after the other: *macro* type first, structural models on *submicro* type afterwards, and finally chemical symbols on the *symbolic* type.”(p. 310)

Gilbert & Treagust (2009b) retoman estas consideraciones y las utilizan para la elaboración de recomendaciones curriculares. Los autores distinguen entre dos enfoques para las prácticas de enseñanza y de aprendizajes de la química, delimitados por el tipo de niveles de representación considerados:

“[...] he case is made that, whilst all school-age students should appreciate the nature of and relationship between the macro and submicro types of representation (what we call the Group A Curriculum), only those students intended to study chemistry at an advanced level need to know about the quantitative aspects of symbolic representations (what we call the Group B Curriculum).”(p. 333)

La designación de los niveles como macroscópico, submicroscópico y simbólico, propuesta inicialmente por Johnstone, se diversificó en una pluralidad de denominaciones (véase Gilbert, 2009). El origen de la propuesta de Johnstone descansa en un análogo con lo geológico:

“The triangle which I proposed had its origins in geology where mineral compositions were set out as combinations of silicon dioxide, magnesium oxide and calcium oxide. The corners represented the pure components, the sides represented binary combinations of any two components and the points inside represented combinations of all three. I had come to the conclusion that the three ‘components’ or ways of thinking about

chemistry were often presented simultaneously (even in the same sentence) and would be represented by points inside the triangle.”

(Johnstone, 2009, p. v)

La propuesta de Johnstone oscila permanentemente entre dos modelos: un primer modelo, relacionado con el procesamiento de la información<sup>1</sup> y un segundo modelo vinculado –utilizando sus propios términos- a la naturaleza de la química. Al referirse a este último modelo -el que nos interesa en este trabajo-, Johnstone piensa el acceso a la naturaleza de la química a través de tres niveles representados como los extremos de un triángulo y haciéndolos corresponder a sendos niveles de acceso a los procesos de enseñanza y procesos de aprendizaje de la química.

El nivel *macro* está representado por lo “tangible”, por aquello a lo cual accedemos por medio de nuestros sentidos. Al nivel *micro* lo componen átomos, moléculas iones y las diferentes estructuras. Al nivel *representacional* o *simbólico* lo constituyen los símbolos, fórmulas, ecuaciones gráficos, formalización, etc. (Fig. 1):

“that it exists in three forms which can be thought of as corners of a triangle. No one form is superior to another, but each one complements the other. These forms of the subject are (a) the macro and tangible: what can be seen, touched and smelt; (b) the submicro: atoms, molecules, ions and structures; and (c) the representational: symbols, formulae, equations, molarity, mathematical manipulation and graphs.” (Johnstone, 2000, p. 11)

Treagust y. Chandrasegaran (2009) ejemplifican cada uno de estos niveles como sigue:

“The three representations [...] are: (1) macroscopic representations that describe the bulk observable properties of matter, for example, heat energy, pH and colour changes, and the formation of gases and precipitates, (2) submicroscopic (or molecular) representations that provide explanations at the particulate level in which matter is described

---

<sup>1</sup> Para una descripción de su propuesta dentro del procesamiento de la información, véase Johnstone (1989, 1991, 1999, 2007).

as being composed of atoms, molecules and ions, and (3) symbolic (or iconic) representations that involve the use of chemical symbols, formulas and equations, as well as molecular structure drawings, models and computer simulations that symbolise matter” (p. 152)

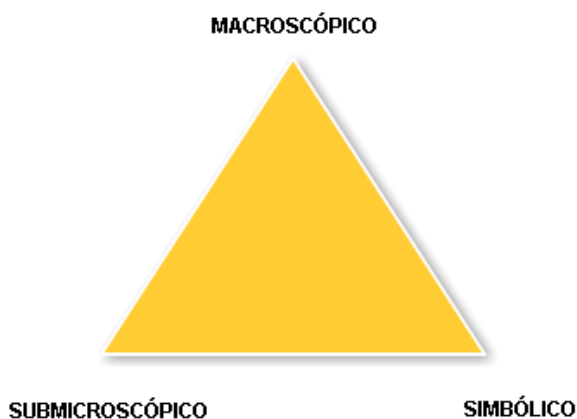


Fig. 1. Triángulo de Johnstone. (Johnstone, 2007)

El manejo simultáneo y no explícito de los tres niveles requiere de un entrenamiento sólo compatible con el conocimiento del experto, y, por tanto, alejado de las posibilidades del novato. En tal sentido, es interesante destacar la desconexión entre el conocimiento que los estudiantes generan para dar sentido al mundo que les rodea (un mundo de objetos “visibles” y personas) y el conocimiento científico, plagado de símbolos extraños y conceptos abstractos referidos a un mundo más imaginario que real:

“But how about the concept of “element” or “compound”? There is no immediate sensory way to get at these ideas. Examples of elements may be yellow powders, colourless gases or brown liquids, but so also are examples of compounds. Where are the common factors? Where are the distinguishing marks? They exist only in the mind, unless the compound can be shown to be broken down into elements experimentally and then to prove that the elementary bits really are elements. This is a long way from school science.

Many scientific concepts are of a similar nature: the electron, bond energy, photons, structures and molecules.” (Johnstone, 1991, p. 77)

Centrar la enseñanza de la ciencia escolar en la exigencia del manejo simultáneo de los tres niveles constituye, según Johnstone, un aspecto central sobre el cual debería reflexionarse al momento de analizar la complejidad subyacente a las enseñanzas y aprendizajes de la disciplina. Intentar recorrer los tres niveles, exigiéndole al alumno una destreza sólo compatible con la del experto, es dejar al alumno anclado en el “extremo” representado por el nivel macroscópico. Por cierto que estas prácticas en la enseñanza de la química, descansan en el imaginario de la necesidad de que el aprendizaje de la disciplina supone manejar simultáneamente los tres niveles anteriores. Esta exigencia hacia el alumno es criticada por Johnstone:

“There has been a suggestion that worthwhile “real” chemistry can be done only when juggling at all these levels, but this is patent nonsense. Perfectly respectable chemistry can be done at the macro level only. After all, it was done there for centuries! Some of the most taxing chemistry is done on *two* levels only, for example, classical thermodynamics uses only the macro and the symbolic levels. Why must we inflict all three levels *simultaneously* on young people?” (Johnstone; 1991; p. 78)

El mismo Johnstone (2007) sugiere la necesidad de que tanto los diseñadores de los planes de estudio como los de textos escolares consideren la necesidad de:

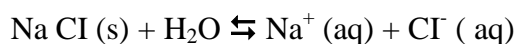
“[...] a considerable introductory period in which students get familiar with *thinking in a scientific way through the use of macro and tangible experiences only*. There is plenty of good science to be learned without the ‘interference’ of sub-micro considerations. Chemistry as a macro material science, dealing with the things of every day experience, has much to offer.” (p.10)

Tsaparlis (2009) encuentra a este enfoque consistente con el constructivismo y siguiendo el principio de inducción al pasar de lo macro a nivel submicro. El enfoque opuesto, sostiene el autor, es bastante común en la enseñanza de la química.

Recurriendo a una típica situación áulica, Johnstone ejemplifica el recorrido entre los tres niveles durante una explicación del docente:



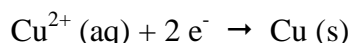
“The macrophenomenon (tangible and visible) that salt dissolves in water is “explained” in terms of its existing in a regular lattice, being attracted to water molecules and being towed off into solution. This is then “shown” as:



Almost in one breath the teacher ranges across this diagram, but the pupil can be stranded at the “macro” corner. So much of teaching takes place *within* the triangle where levels interact in varying proportions and the teacher may be unaware of the demands being made on the pupils.” (Johnstone; 1991; p. 78).<sup>2</sup>

En otro ejemplo, Johnstone ejemplifica este manejo simultáneo entre niveles a través de una situación de enseñanza-aprendizaje situada durante el desarrollo de un práctico de laboratorio:

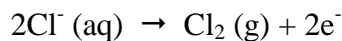
“An electrolysis cell is set up with a blue solution being electrolysed between carbon rods. The student observations are as follows: a blue solution, a brown deposit on the carbon attached to the black terminal and sharp smelling bubbles coming off the other electrode attached to the red terminal and withdrawn at the red. The pupil has to take on trust that electrons are being supplied at the black terminal and withdrawn at the red. This is already in the invisible, submicro level. If the teacher names the blue solution as copper chloride the next set of questions are begged: “What might the brown material be?” “What might the bubbles be?”. Now we plunge into the middle of the triangle if the teacher leads the reasoning as follows. “If the brown material is copper this shows that, in the blue solution, copper exists as positively charged particles called ions, in fact as  $\text{Cu}^{2+} (\text{aq})$ . When it arrives at the electrode, it collects two electrons to become solid copper metallic.” This can be shown as:



---

<sup>2</sup> De no indicarse lo contrario, los encomillados y las cursivas están en el original.

All the other electrode negatively charged chloride ions are arriving, surrendering an electron to make chlorine atoms which pair up to give chlorine gas as shown:



This edifice of reasoning is being built on a very few perceptual clues and piled high with concepts, terminology and representation. It is doubtful if the edifice would have been any less secure if the experiment had not been done at all. The “results” the teacher wanted are several levels removed from the observations.” (Johnstone; 1991; p. 79).

Para comprender los cambios que se producen durante las reacciones químicas, los estudiantes deben ser capaces de relacionar los cambios macroscópicos observados, el reordenamiento de partículas interpretado en el nivel de representación submicroscópico y la ecuación química correspondiente en el nivel simbólico de la representación. Estudios, sin embargo, han demostrado que los estudiantes construyen generalmente la mayor parte de su comprensión en química utilizando representaciones macroscópicas, pero no tienen mucho éxito en el desarrollo de comprensiones que relacionen representaciones macroscópicas, submicroscópica y representaciones simbólicas, (Treagust & Chandrasegaran, 2009)

Lewthwaite (2014) ejemplifica la enseñanza de los conceptos “ácidos fuertes y débiles”. Este autor sugiere iniciar involucrando a los estudiantes en la realización de experiencias en el nivel macroscópico, a través de una demostración centrada en la observación de la diferencia en el pH y la conductividad de soluciones equimolares de clorhídrico y ácido acético. Luego, trabajar con simulaciones que modelen a nivel submicro la disociación en agua de ácidos fuertes débiles, explicando las diferencias encontradas experimentalmente en la conductividad y pH. En una instancia adicional, se propone el trabajo en el nivel simbólico a partir de cálculos que involucran constantes de disociación y ecuaciones químicas.

Por otra parte, los niveles propuestos por Johnstone, pueden ser leídos según su función descriptiva-conceptual (macroscópico), representacional (nivel simbólico) y teórico-explicativo (nivel submicroscópico) (Taber, 2013). Gilbert & Treagust, (2009a), de su parte, refieren a los niveles de representación en términos de posibles

interpretaciones de fenómenos químicos considerando las diferentes miradas que proporcionan del fenómeno bajo estudio:

“In summary, the first type of representation seeks to represent phenomena as experienced with the senses (or sense-extensions); the second seeks to support a qualitative explanation of those phenomena, whilst the third seeks to support a quantitative.”(pp. 3-4)

En esta línea argumentativa, Davidowitz, & Chittleborough, (2009) sostienen que los niveles macro y submicro proporcionan diferentes interpretaciones de una misma entidad, fijando la atención en lo real y perceptual –propio del nivel macro- y en lo invisible e igualmente real -propio del nivel submicro- (ver más adelante, Fig. 2).

### **Más allá de la propuesta de Johnstone. Repensando el nivel simbólico.**

Sólo una décima parte de volumen de un iceberg está por encima del agua; el resto está por debajo de la superficie. No se puede juzgar la forma o tamaño de la parte bajo el agua mirando a la parte de encima de la superficie. Esta analogía, podría representar la naturaleza de la química enseñada en el contexto de las aulas de ciencias y el desafío didáctico asociado (Graulich, 2015).

Analizando la propuesta de Johnstone, Taber (2013) propone una revisión de la ontología del triplete y, en particular, de la relación entre el nivel simbólico y los restantes niveles–macroscópico y submicroscópico-. El nivel simbólico permitiría, sostiene el autor, transitar entre los niveles restantes.

En las clases de química el mundo real de los materiales se sustituye por la simplificación de sustancias puras. Las sustancias son una abstracción importante de la experiencia de la vida real (Taber, 2013). La noción de “sustancia” representa conceptualmente, para el estudiante, una abstracción y, simultáneamente, una simplificación de los materiales cotidianos. Nociones como “sustancia”, “elemento”, clasificaciones específicas como las correspondientes a metales alcalinos, ácidos, agentes oxidantes, elementos representativos, entre otras, adquieren significado para los estudiantes en términos de los modelos científicos escolares –nivel submicroscópico-. Así, los estudiantes deben construir sus aprendizajes en dos niveles diferentes de conceptualización: en aquel correspondiente a las descripciones

formales de los fenómenos observados, reconceptualizado en el nivel macroscópico y, por otra parte, en términos de los modelos teóricos propios del nivel submicroscópico.

Los símbolos son ampliamente utilizados en la enseñanza y el aprendizaje de la química. Las representaciones simbólicas adoptan una amplia variedad de formas. Estas diferentes formas de representación simbólica son las que los estudiantes de química deberían aprender. Entre otras formas, encontramos números, letras, símbolos alfanuméricos utilizados en la representación de aspectos específicos de las estructuras atómica y molecular (por ejemplo, líneas para representar enlaces covalentes simples y múltiples; representación de configuraciones electrónicas). Incluso; muchas de las representaciones utilizadas en enseñanza de la química son una combinación de símbolos y modelos (por ejemplo, la representación de una molécula de una de las formas alotrópicas del fósforo) (Taber, 2009). Además, diferentes contextos dentro de la química han desarrollado sus propias formas especializadas de simbolismo. Por ejemplo, en química orgánica, el sistema de nomenclatura incluye números que se utilizan para especificar las posiciones de los grupos funcionales (propan-1-ol, propan-2-ol, hexa-2-eno, 1, 2-dicloroetano, etc.); símbolos tales como p-, o-, m- (para-, orto-, meta-), E / Z, D-/ L-, (+) /(-), R-/S- etc. Un grupo metilo se puede mostrar en una representación estructural como -CH<sub>3</sub> o Me, y símbolos similares se utilizan para etilo, propilo y butilo en cadenas carbonadas. Es común para representar un grupo fenilo, ya sea como pH o como un hexágono con un círculo inscrito dentro de ella; este círculo está destinado a representar la densidad de electrones que se encuentra por encima y por debajo del plano principal de la molécula.

La representación de las reacciones químicas utilizando ecuaciones químicas es uno de los aspectos centrales en las prácticas de enseñanza y prácticas de aprendizaje de la Química. La familiaridad con el formalismo permite, de modo naturalizado, “ver” más allá de los propios símbolos en tanto el formalismo supone conocimientos que permiten dar sentido a las representaciones más allá de la información directamente aportada. Tal como sucede en un idioma, es necesario tanto del aprendizaje y enseñanza de los símbolos mismos como de la gramática de la lengua. Si bien es posible un número infinito de permutaciones de símbolos, solo algunos representan procesos químicos; otros o bien carece de n

La importancia del nivel simbólico radica en que permite relacionar representación y comunicación (Taber, 2013). Conceptos como “solución”, “sustancia”, “reacción química”, “electrón”, “orbital”, es decir, conceptos propios de los niveles macroscópico y submicroscópico de conceptualización, deben ser representados y comunicados. Esta representación puede realizarse verbalmente y/o a través de variadas formas como gráficos, diagramas, formas híbridas, entre otras. En particular, una misma entidad puede ser representada de diferentes formas dependiendo qué aspectos quieren ser enfatizados y del contexto didáctico particular, permitiendo diferentes puertas de acceso a ideas centrales durante el proceso de transformación del contenido (Shluman, 2005) tanto en la fase pre-activa como en la post-activa de la enseñanza (Jackson, 1998). Con relación a la diversidad de formas de representación, afirma Caamaño (2014):

“El componente representacional se clasifica en función del tipo de lenguaje de representación utilizado: verbal (oral o escrito), simbólico (símbolos químicos, fórmulas químicas, ecuaciones químicas), formal o matemático (fórmulas y ecuaciones matemáticas), gráfico (esquemas, diagramas estructurales, diagramas con ejes de coordenadas), modelos materiales (modelos moleculares), simulaciones, etc. Los componentes no verbales del nivel representacional han sido también denominados modelos materiales (simbólicos, icónicos o experimentales)” (p. 10).

El lenguaje verbal es un vehículo privilegiado, particularmente en el formato escolar vigente, para relacionar los niveles macro y submicroscópico. En el uso naturalizado, no reflexivo, del lenguaje verbal suelen transmitirse relaciones equivocadas entre ambos niveles. Al respecto, Bucat, & Mocerino (2009) refieren con los siguientes ejemplos:

“To be precise, benzene does not have a plane of symmetry (although its molecules do), water is not composed of the elements (as substances) hydrogen and oxygen,  $C_8H_{18}$  is not octane (although octane’s composition can be represented as  $C_8H_{18}$ ), nylon is not a long molecule (although its molecules are long), polyethylene is not an enormous alkane, liquid limonene is not chiral (although it is optically active), a reaction energy profile diagram does not plot the energies of the reactants

and products during reaction (although it may plot the combined energies of a small group of atoms before, during and after a single fruitful collisional event between reactant molecules, ions or atoms), and the substance concentrated sulphuric acid is a powerful oxidising agent (not the S atom in the +6 oxidation state).” (p.12)

Chen & Gilbert (2009) enfatizan en la necesidad ir más allá de considerar la interacción verbal entre docente y estudiantes para trabajar en el nivel simbólico:

“[...] different modes of communication make meaning differently, so the verbal mode alone can only express part of the meanings of chemical concepts. We must therefore probe into students’ understanding of the visual mode through graphs, diagrams and photographs and charts.”(p. 57).

En particular, los diagramas se utilizan para representar la información química, para ayudar a describir una idea, dar una explicación, presentar una imagen visual, para hacer predicciones, deducciones, motivar y formar hipótesis. Su información puede ser estática o dinámica, bidimensional o tridimensional, de una sola partícula versus múltiples partículas. Los diagramas utilizados en química el nivel sub-micro incluye representaciones de lo molecular, atómico y subatómico. Son numerosos los ejemplos de diagramas que describen simultáneamente en los niveles submicro y simbólico; en algunos casos un diagrama puede contener gráficos, diagramas de nivel submicroscópico correspondiente a la representación del fenómeno químico, ecuaciones químicas, así como también incluir un texto explicativo.

En el nivel simbólico, la representación de una reacción química utiliza, entre otros signos, aquellos correspondientes a fórmulas químicas de las sustancias que intervienen. La representación simbólica de las sustancias encierra, según Taber (2013), cierta ambigüedad en términos de si esa representación corresponde a la sustancia en el nivel macroscópico o a la especie molecular, en el nivel submicroscópico:

“Our verbal labels have the same ambiguity. When the teacher talks of hydrogen or oxygen she may be talking about the element (as a theoretical entity that is in some sense conserved in reactions although

being incorporated in different compounds); the substance; or an atom or molecule [...]”(Taber, 20019: 100)

En las siguientes afirmaciones: “el eteno contiene menos hidrógeno que el etano”; “el hidrógeno combustiona”; “el hidrógeno tiene un electrón en un orbital 1s”; “el hidrógeno contiene un enlace covalente puro”, encontramos la misma palabra, 'hidrógeno', que se utiliza como una etiqueta para representar cuatro entidades diferentes. A menos que el docente explicita estas diferentes formas semánticas, el estudiante debe inferir del contexto si la referencia es al elemento, la sustancia, el átomo o la molécula.

En una ecuación química, es posible ofrecer una lectura en términos de las sustancias que participan de la misma y a sus relaciones molares como a las moléculas que intervienen y a sus respectivas relaciones moleculares. En todo caso es importante que el docente guíe y modele las lecturas posibles explicitando estas diferencias y, de ser posible además, los niveles de trabajo. Si bien esta última diferencia puede ser eximida del tratamiento con los estudiantes es didácticamente relevante que sea considerada por el docente.

Esta ambigüedad asociada a la representación simbólica de las sustancias químicas encierra además, la posibilidad de vincular los niveles macroscópico y microscópico permitiendo discursivamente transitar entre ambos niveles (Fig. 3). Esta alternativa es particularmente importante si consideramos que las lecturas realizadas de los fenómenos en nivel macroscópico deben ser explicadas en términos de los conceptos y relaciones semánticas propias de modelos científicos escolares pertenecientes al nivel submicroscópico. El nivel macroscópico se explica en función del submicroscópico mediante modelos; el nivel simbólico permitiría mediar entre los dos niveles de conceptualización. Además, Taber (2009) sugiere que el papel del nivel simbólico en la mediación de discusión de los niveles macroscópico y submicroscópico no sólo ofrece un nivel adicional de complejidad para la comprensión de los estudiantes sino que a través de su ambigüedad, donde los símbolos a menudo pueden representar cualquiera de los dos niveles (sea macroscópicas o sub-microscópicas), ofrece un dificultad potencial para el alumno principiante al confundir la discusión de entre los niveles macroscópico y submicroscópico.

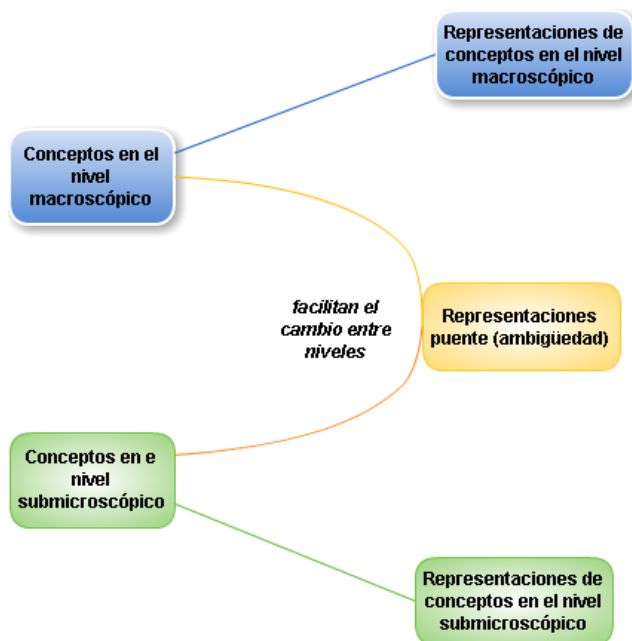


Fig. 3. El nivel simbólico como nexo para relacionar los niveles desarrollo de explicaciones relativas a los dos niveles conceptuales (Taber, 2013).

Esta consideración de Taber (2013), respecto del papel mediador del nivel simbólico, es también realizada por Gilbert (2009) cuando sostiene:

“This level of representation [symbolic] also can be used both in respect of the introduction first, the phenomenological representational type, when dealing with bulk quantities of reactants and products in stoichiometric computations, and with a wide range of models of the second type of representation when describing physical changes (e.g. changes of state and dissolution of solutes) and the chemical changes taking place during reactions.” (p. 4)

El manejo de la representación simbólica que se presenta como familiar y se “da por sentada” en los “expertos” (químicos, profesores de ciencias, etc.) no siempre es bien comprendida por los estudiantes. La complejidad y la abstracción de las representaciones simbólicas si bien sencilla para los “expertos”, en realidad puede presentar una demanda significativa en los estudiantes que suelen carecer de una fuerte familiaridad con el simbolismo y de una comprensión teórica de los principios conceptuales asumidos en el empleo de las representaciones simbólicas (Taber, 2009). En este contexto, el manejo de estas representaciones ha sido también reflejado en la metáfora del aprendizaje de una nueva lengua (Lemke, 1997).



### **Más allá de la propuesta de Johnstone. Repensando la ontología del triángulo.**

Caamaño (2014) propone una solución a la ambigüedad presentada por Taber, definiendo nuevo nivel: el nivel intermedio, que permite explicar las propiedades físicas de las sustancias en función de las partículas que las constituyen y sus interacciones. En palabras del autor:

“[...]  $H_2O(l)$  sería una representación simbólica de nivel macroscópico (puesto que representa una muestra de agua líquida); un diagrama multimolecular del agua sería una representación gráfica de nivel intermedio, porque representa convencionalmente una multitud de moléculas de agua, y  $H_2O$  sería una representación simbólica de nivel submicroscópico, porque representa una molécula de agua. Nótese cómo el uso del símbolo del estado físico de una sustancia soluciona la ambigüedad de significado macro o submicro que se produce cuando las fórmulas químicas se usan sin esta diferenciación simbólica” (p. 11)

Taber (2013), al considerar que los niveles macroscópico y submicroscópico representan niveles de conceptualización de los fenómenos percibidos, propone una diferenciación entre un nivel ontológico y otro conceptual (Fig. 4). Así, ambos niveles permiten conceptualizar la realidad fenoménica. Caamaño (2014) propone extender esta última idea al nivel representacional y reestructura el triángulo ubicando en sus vértices a las siguientes entidades: conceptos y modelos mentales, representación y realidad química. Cada uno de estos componentes del triángulo, son leídos desde la doble perspectiva –macro y submicro-.

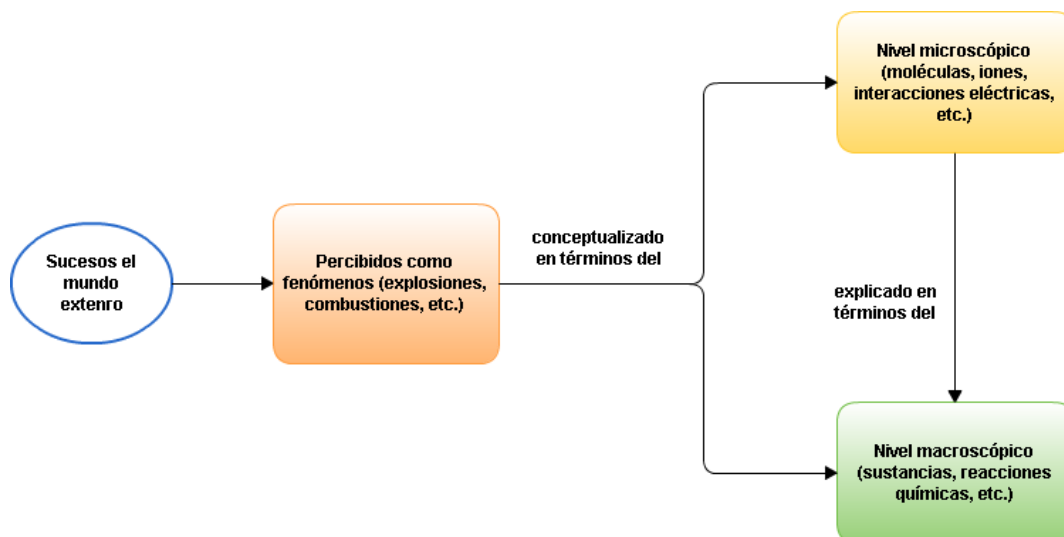


Fig. 4. Dos niveles de conceptualización del conocimiento químico (Taber, 2013)

Si la conceptualización de la realidad fenoménica admite una doble interpretación, según los niveles macro y submicro, entonces los conceptos pueden clasificarse y diferenciarse en términos de estos niveles. Caamaño (2014) propone extender esta idea al nivel de representación simbólico:

“La diferenciación entre los niveles macroscópico y submicroscópico de los conceptos puede extenderse a las representaciones simbólicas y verbales de estos conceptos [...]”. (pp. 8-9)

Además, si la realidad es conceptualizada en términos de los niveles de los diferentes niveles de representación, entonces la realidad posee sendos niveles (Caamaño, 2014). En esta afirmación el autor coincidiría con el posicionamiento ontológico sostenido por Davidowitz, & Chittleborough (2009).

Las explicaciones de procesos químicos requieren la construcción mental de representaciones correspondientes al nivel submicroscópico. Los diagramas constituyen una forma de representación que contribuye a la construcción de estas representaciones. Asumiendo que la dimensión fenoménica a la que accedemos sensorialmente y la ontología propuesta modélicamente nos ofrecen diferentes aproximaciones a una misma sustancia –o entidad química estudiada-, ambas lecturas refieren a lo real. Lo real es el estatus representacional para los niveles macro y submicro; la representación es el estatus de realidad correspondiente al nivel simbólico (Davidowitz, & Chittleborough, 2009). Los procesos, las sustancias que se evidencian en el mundo real, en general, los referentes

ontológicos presentes en esta realidad (Caamaño, 2014) son descriptos y explicados desde los niveles macro y submicro. El nivel simbólico, correspondiente a la dimensión representacional de la Química, permite vías de acceso a la interpretación de la dimensión no-observable del mundo real (línea punteada en la Fig. 2) (Davidowitz, & Chittleborough, 2009).

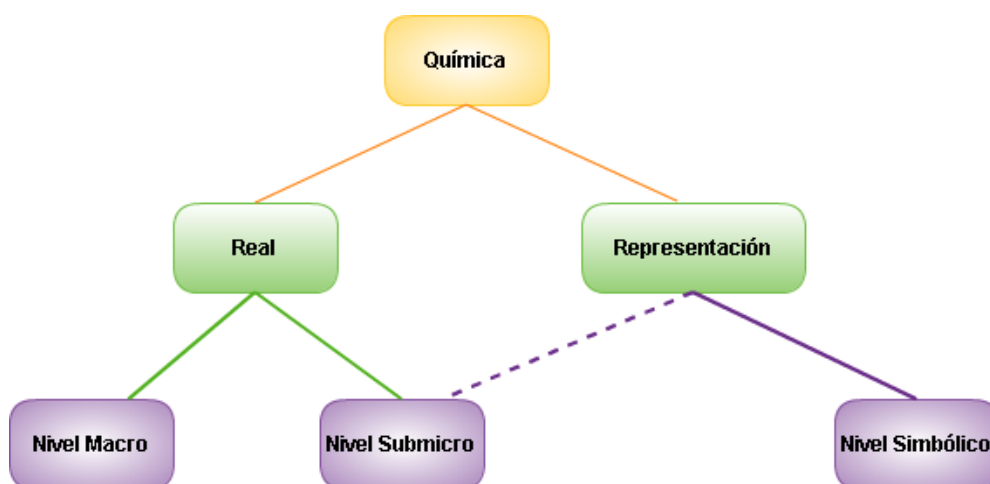


Fig. 2. Relaciones entre los tres niveles de representación (Davidowitz, & Chittleborough, 2009).

Al considerar esta múltiple dimensión de lo real, es posible interpretar los nuevos componentes del triplete desde los diferentes niveles de representación. Tanto la realidad como los conceptos y las representaciones pueden ser clasificados en tres niveles: macroscópico, submicroscópico e intermedio (Fig. 5)

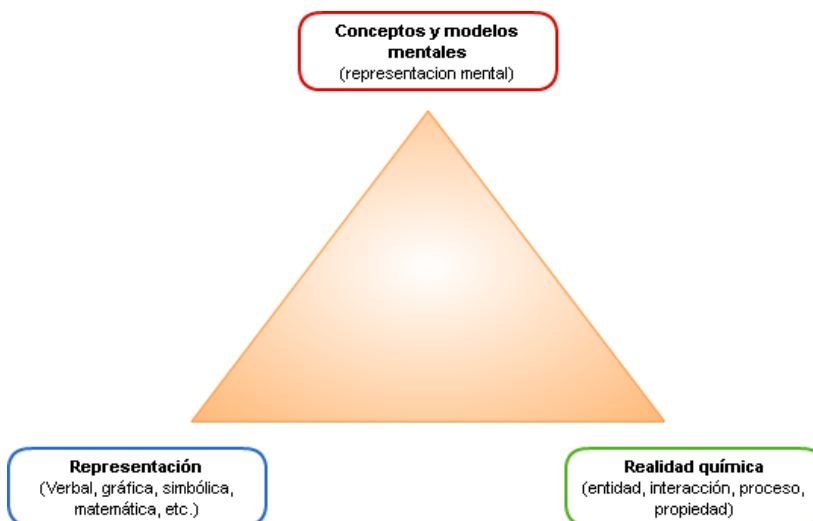


Fig. 5. Realidad química, conceptos y modelos y representación.

Si los niveles de representación macro, submicro e intermedio son las puertas de acceso a la realidad, también lo son para los entes químicos que “pueblan” esa realidad. A esos “entes” Caamaño (2014) las denomina “referentes ontológicos” e incluyen entidades materiales, interacciones, procesos y propiedades de entidades materiales y de procesos.

“Las propiedades, tanto de las entidades como de los procesos, pueden ser materiales (volumen molecular, masa molar), eléctricas (momento dipolar de una molécula), termodinámicas (temperatura, energía cinética molar, entalpía de una sustancia o de una reacción, entropía de una sustancia o de una reacción) o cinéticas (velocidad de reacción, energía de activación, mecanismo de una reacción).”(p. 12)

### **Consideraciones finales.**

En este trabajo pretendemos revisar la propuesta de Johnstone y avanzar en recientes investigaciones centradas en discusiones sobre el triángulo o triplete, pensado en el contexto de los aprendizajes y prácticas de enseñanza. En particular, recuperamos dos miradas que, entendemos, permiten ampliar las lecturas del triángulo y sus implicaciones didácticas.

Por un lado, la reconsideración del nivel de representación simbólico desde una doble perspectiva. En primer término, desde su vínculo mediador entre los niveles macroscópico y submicroscópico y en su estatus ontológico. Este carácter mediador resignifica didácticamente la importancia del nivel y actualiza la relevancia de miradas reflexivas sobre los recursos didácticos.

Por otra parte, la reconsideración del nivel simbólico desde su estatus ontológico. Desde esta última perspectiva, las propuestas analizadas avanzan en una mirada filosóficamente realista en lo que respecta a la relación entre niveles macroscópico y submicroscópico y realidad. No obstante, el tratamiento que los autores considerados hacen de esta relación no nos permite avanzar en una delimitación del tipo de realismo supuesto. En todo caso, nos interesa destacar que la propuesta del triángulo de Johnstone ofrece, en este último caso, una lectura epistemológica.

La segunda mirada que permite una revisión de la propuesta de Johnstone es más radical. En ella se modifica la ontología del triángulo proponiendo un triplete

diferente en el que cada uno de sus vértices -realidad, modelos mentales y modelos representacionales-se presenta en los niveles macro, submicro y un nuevo nivel -denominado intermedio-. Esta propuesta permitiría nuevas posibilidades para pensar las relaciones entre los diferentes niveles de representación ahora transversales a los vértices del triángulo. Además, la propuesta de una clasificación de entes que “habitan” la realidad química permitiría una mirada interesante para la construcción del contenido didáctico.

En el contexto del nivel de representación simbólico, los análisis presentados enfatizan la dimensión no verbal. El aula de ciencias es un contexto que privilegia los intercambios discursivos docente-estudiantes y desde esta relevancia adquiere centralidad el habla del profesor como vehículo para promover procesos de enseñanza (Becker, Stanford, Towns & Cole, 2015). La consideración de esta tipología de formas de representación se instituye como un medio privilegiado para ser considerado en las prácticas de enseñanza. Pensando la formación docente y el ejercicio de la práctica profesional desde una perspectiva interpretativa (Zeichner, 2010; Sanjurjo, 2000; Schön, 1998), explicitar la existencia de niveles ofrece la posibilidad de pensar la enseñanza en sus diferentes fases (Jackson, 1998) y la posibilidad de desarrollo de procesos reflexivos desde los cuales considerar y resignificar las acciones didácticas.

## Bibliografía

- Al-Balushi, S. M. (2013). The effect of different textual narrations on students' explanations at the submicroscopic level in chemistry. *Eurasia Journal of Mathematics, Science & Technology Education*, 9(1), 3-10.
- Barke, H. D. (1997). The Structure-oriented approach. Demonstrated at the example of interdisciplinary teaching spatial abilities. In W. Gräber & C. Bolte (Eds.), *Scientific literacy*. Hamburg:
- IPN. Becker, N., Stanford, C., Towns, M., & Cole, R. (2015). Translating across macroscopic, submicroscopic, and symbolic levels: the role of instructor facilitation in an inquiry-oriented physical chemistry class. *Chemistry Education Research and Practice*, 16(4), 769-785.
- Camaño, A. (2014). La estructura conceptual de la química: realidad, conceptos y representaciones simbólicas. *Alambique: Didáctica de las ciencias experimentales*, (78), 7-20.
- Cheng, M., & Gilbert, J. K. (2009). Towards a better utilization of diagrams in research into the use of representative levels in chemical education. *Multiple representations in chemical education* (pp. 55-73). Springer Netherlands.
- Davidowitz, B., & Chittleborough, G. (2009). Linking the macroscopic and sub-microscopic levels: Diagrams. *Multiple representations in chemical education* (pp. 169-191). Springer Netherlands.
- Gabel, D.L. (1993): «Use of the particle nature of matter in developing understanding». *Journal of Chemical Education*, vol. 70(3), p.193
- Gabel, D. (1999). Improving teaching and learning through chemistry education research: A look to the future. *J. Chem. Educ.*, 76(4), 548.
- Georgiadou, A., & Tsapalis, G. (2000). Chemistry teaching in lower secondary school with methods based on: a) psychological theories; b) the macro, representational, and submicro levels of chemistry. *Chemistry Education Research and Practice*, 1(2), 217-226.
- Gilbert, J. K., & Treagust, D. F. (2009a). Introduction: Macro, submicro and symbolic representations and the relationship between them: Key models in chemical education. *Multiple representations in chemical education* (pp. 1-8). Springer Netherlands.
- Gilbert, J. K., & Treagust, D. F. (2009b). Towards a coherent model for macro, submicro and symbolic representations in chemical education. *Multiple representations in chemical education* (pp. 333-350). Springer Netherlands.
- Gilbert, J., & Treagust, D. (2009). *Multiple representations in chemical education, models and modeling in science education*. New York: Springer,
- Graulich, N. (2015). The tip of the iceberg in organic chemistry classes: how do students deal with the invisible? *Chemistry Education Research and Practice*, 16(1), 9-21.
- Jackson, P. (1998). *La vida en las aulas*. Morata, Madrid.
- Johnstone, A. H. & El-Banna, H. (1989). "Understanding Learning Difficulties -a predictive model-". *Studies in Higher Education*, Volme 14, No. 2, pp. 159-168.

Johnstone, A. H. (1991). "Why is science difficult to learn? Things are seldom what they seem". *Journal of Computer Assisted Learning* 7, 75-83.

Johnstone, A. H. (1999). "The nature of chemistry". *Education in chemistry*, pp. 45-47. March.

Johnstone A. H. (2000), Teaching of chemistry – logical or psychological? *Chem. Educ.: Res. Pract. Eur.*, 1(1), 9–15.

Johnstone, A. H. (2007). Science education: We know the answers, let's look at the problems. *Proceedings of the 5th Greek Conference "Science education and new technologies in education"*, Vol. 1, pp. 1–11.

Johnstone A. H. (2009). Foreword. *Multiple representations in chemical education* (pp. V-VI). Springer Netherlands.

Johnstone A. H. (2010). You can't get there from here, *J. Chem. Educ.*, 87, 22-27.

Lemke, J. L. (1997). "Aprender a hablar ciencia". Barcelona: Paidós. Versión original: (1993) "Talking science: language, learning and values". Norwood: Albex Publishing Corporation.

Lewthwaite, B. (2014). Thinking about practical work in chemistry: teachers' considerations of selected practices for the macroscopic experience. *Chemistry Education Research and Practice*, 15(1), 35-46.

Li, W. S. S., & Arshad, M. Y. (2014). Application of Multiple Representation Levels in Redox Reactions among Tenth Grade Chemistry Teachers. *Journal of Turkish Science Education*, 11(3).

Savec, V. F., Sajovic, I., & Grm, K. S. W. (2009). Action research to promote the formation of linkages by chemistry students between the macro, submicro, and symbolic representational levels. *Multiple representations in chemical education* (pp. 309-331). Springer Netherlands.

Sanjurjo, L. (2000). *La formación práctica de los docentes. Reflexión y acción en el aula*. Homo Sapiens, Rosario.

Schön, D. (1998). *El profesional reflexivo. Cómo piensan los profesionales cuando actúan*. Paidós, Barcelona.

Shulman, L. (2005): Conocimiento y enseñanza: fundamentos de la nueva reforma. *Profesorado. Revista de currículum y formación del profesorado*, 9, 2.

Taber, K. S. (2009). Learning at the symbolic level. *Multiple representations in chemical education*(pp. 75-105). Springer Netherlands.

Taber, K. S. (2013). Revisiting the chemistry triplet: drawing upon the nature of chemical knowledge and the psychology of learning to inform chemistry education. *Chemistry Education Research and Practice*, 14(2), 156-168.

Talanquer V., (2011), Macro, submicro, and symbolic: the many faces of the chemistry "triplet", *Int. J. Sci. Educ.*, 33(2), 179–195.

Treagust, D. F., & Chandrasegaran, A. L. (2009). The efficacy of an alternative instructional programme designed to enhance secondary students' competence in the triplet relationship. *Multiple representations in chemical education* (pp. 151-168). Springer Netherlands.

Tsaparlis, G. (2009). Learning at the macro level: The role of practical work. In *Multiple representations in chemical education* (pp. 109-136). Springer Netherlands.

Tsaparlis, G., Kolioulis, D., & Pappa, E. (2010). Lower-secondary introductory chemistry course: a novel approach based on science-education theories, with emphasis on the macroscopic approach, and the delayed meaningful teaching of the concepts of molecule and atom. *Chemistry Education Research and Practice*, 11(2), 107-117

van Berkel, B., Pilot, A., & Bulte, A. M. (2009). Micro–macro thinking in chemical education: Why and how to escape. *Multiple representations in chemical education* (pp. 31-54). Springer Netherlands.

Zeichner, K. (2010) Nuevas epistemologías en formación del profesorado. Repensando las conexiones entre las asignaturas del campus y las experiencias de prácticas en la formación del profesorado en la Universidad. *Revista Interuniversitaria de Formación del Profesorado* N° 68. AUPOF, Zaragoza.