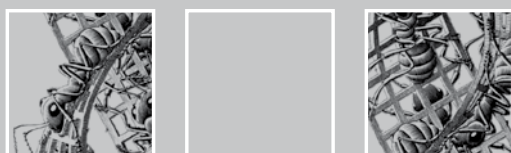


TEA

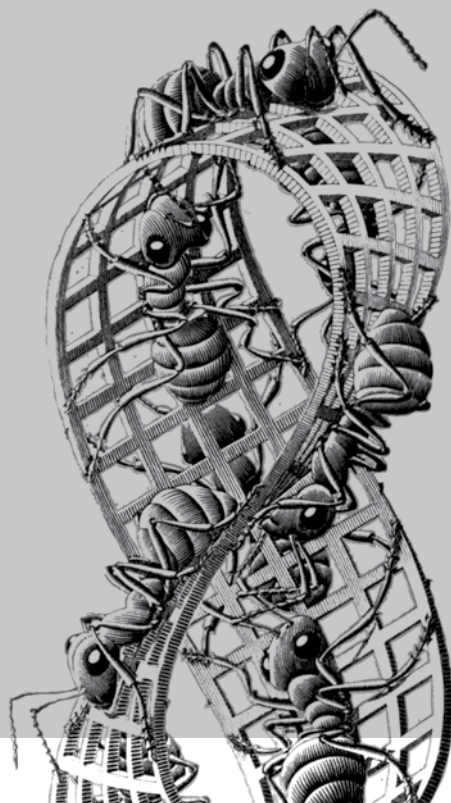


Artículos



UNIVERSIDAD PEDAGÓGICA
NACIONAL

Educadora de educadores



Una aplicación de redes sistémicas para entender las concepciones de los estudiantes: ¿qué tan grande es un átomo? ■

Recibido: 10-06-2010 | Aceptado: 20-12-2010

An application of systemic networks to understand students' conceptions: how big is an atom?

Diana M. Farías*

Manuel F. Molina*

José G. Carriazo*

- **Resumen:** Este trabajo describe el empleo de las redes sistémicas para analizar las concepciones de un grupo de estudiantes de la carrera de biología acerca del tamaño del átomo. Las respuestas a la pregunta *¿qué tan grande es un átomo?* se evaluaron antes y después del estudio de los temas de estequiometría y estructura atómica. El análisis de las redes permitió identificar que, después del estudio de los temas mencionados, la red se hace más compleja como evidencia de un cambio en las respuestas. No obstante, las categorías de la red antes y después de la intervención didáctica se mantienen. Al final del proceso, una gran parte de los estudiantes que no tenían respuesta a la pregunta propuesta inicialmente se posicionan y adoptan como solución la comparación con elementos que conocen, siempre relacionando algo "muy grande" con algo "muy pequeño".
- **Abstract:** This paper describes the use of systemic networks to analyze the conceptions of a group of students from a BA program in biology about the size of the atom. The answers to the question *How big is an atom?*, were evaluated before and after studying issues of stoichiometry and atomic structure. The network analysis identified that, after studying the above issues, the network becomes more complex as evidence of a change in the answers. However, the categories of the network before and after the educational intervention are maintained. At the end of the process, a large proportion of students who had no answer to the question posed initially positioned and adopted as a solution the comparison with items they know, they always relate something very large with something very small.

Palabras clave: Redes sistémicas, niveles de representación en química, concepciones de los estudiantes.

Keywords: Systemic networks, Levels of representation in chemistry, Students conceptions.

* Departamento de Química, Facultad de Ciencias. Universidad de Nacional de Colombia.
Correos electrónicos: dmfariasc@unal.edu.co - mfmolinac@unal.edu.co - jcarriazog@unal.edu.co

Introducción

Hay tres contextos en los que se pueden agrupar las representaciones mentales para los fenómenos naturales en química: el macroscópico (de manifestaciones empíricas de la estequiometría y de las reacciones químicas balanceadas), el submicroscópico (de las interacciones atómicas que ocurren en dichas reacciones) y el representativo o simbólico (del lenguaje usado para representar estas interacciones químicas) (Johnstone, 2000). Los estudiantes pueden encontrar exitosamente la respuesta numérica a un problema porque lo entienden a nivel molecular o simplemente porque poseen un simple algoritmo; sin embargo, no son capaces de hacer una representación pictórica adecuada que represente el sistema físico a nivel molecular porque no lo entienden (Gabel, Samuel y Hunn, 1987). Esta situación ha sido estudiada por varios investigadores (Nurrenbern y Pickering, 1987; Nakhleh, 1993; Nakhleh y Mitchell, 1993; Pickering, 1990; Sawrey, 1990). Los docentes deben por tanto ayudar a sus estudiantes a desarrollar con facilidad el uso de múltiples representaciones, además deben diseñar estrategias para evidenciar las ideas de los estudiantes en los tres niveles mencionados (Hinton y Nakhleh, 1999). La importancia de esta competencia radica en que, el cuerpo conceptual completo de la química, está basado en la interrelación entre los niveles de descripción micro y macroscópico, pero los modelos que corresponden a cada nivel de descripción y sus mutuas interrelaciones no son identificados y entendidos claramente por los estudiantes, con lo que se detecta una amplia variedad de errores (por ejemplo en lo que se refiere a los conceptos de mol y molécula) e ideas alternativas en su aprendizaje (Mammino y Cardellini, 2005). Furió, Azcona y Guisasaola (2006) señalan que los razonamientos de la mayoría de los estudiantes en

este dominio se caracterizan por confundir frecuentemente el nivel macroscópico de descripción de las sustancias con el microscópico de sus entidades a escala atómico-molecular. Un caso bastante frecuente es la identificación que hacen los estudiantes de la masa molar con la masa molecular.

Asimismo, la existencia de los niveles de descripción de la materia, macroscópico y microscópico, ha sido identificada como una de las dificultades conceptuales de la química y considerada como un foco importante de concepciones alternativas en los estudiantes, debido a los constantes "saltos" que es preciso realizar entre estos dos niveles para poder interpretar las propiedades de las sustancias y de los materiales en función de su estructura (Hinton y Nakhleh, 1999). Una complicación adicional radica en que el nivel microscópico debe, a su vez, subdividirse en un nivel atómico o atómico-molecular ( tomos, iones, moléculas) y un nivel multiat mico, multimolecular o multii nico, que es el que constituye el verdadero nexo de unión entre el mundo macroscópico y el atómico (Caamaño y Maestre, 2004).

La importancia de poseer un adecuado dominio de la representación en estos tres niveles puede ser justificada desde varios puntos de vista: desde el curricular, si consideramos que los Estándares Básicos de Competencias en Ciencias Naturales y Ciencias Sociales (Ministerio de Educación Nacional-Colombia, 2004) buscan que tanto estudiantes como maestros se acerquen al estudio de las ciencias como investigadores, meta que resulta imposible en el ámbito de la química, la física y la biología si los estudiantes no son capaces de complejizar los sistemas que estudian más allá del nivel que les resulta cercano, el macroscópico. Desde el de la formación de ciudadanos científicamente informados,

si consideramos que nuestros estudiantes están cada día más cerca, gracias a los avances y diversificación en las fuentes de información, a los resultados de la ciencia de “punta”, con lo que pueden encontrarse fácilmente, por ejemplo, con imágenes obtenidas por microscopía de alta resolución, de fuerza atómica y otras técnicas, que evidencian ese mundo microscópico que no les es cotidiano pero que está en el discurso científico. Desde el punto de vista cognitivo, ya que en la medida en que los estudiantes logran conectar más información acerca de un mismo tema, se apropian de éste más sólidamente (Johnstone, 2000). Y finalmente, desde la misma esencia de lo que significa el pensamiento científico y la posibilidad de poder explicar fenómenos desde diferentes perspectivas que se correlacionan y complementan; así, por ejemplo, para comprender qué sucedió con los reactores nucleares tras el terremoto en Japón en 2011, el estudiante podría entender la idea de lo que pasa con el reactor como parte de la planta física en sí, pero también podría incluso llegar a explicar a nivel microscópico lo que está pasando con los átomos de uranio en las barras que están al interior del reactor y por qué es posible que de ellas se genere tanta energía.

Para nosotros como profesores de química, es importante conocer qué ideas tienen los estudiantes acerca del átomo (en este caso acerca de su tamaño), ya que es el eje central de nuestros cursos de química y con frecuencia se desconoce, en el ejercicio mismo de la actividad docente, que la comprensión de la naturaleza discontinua de la materia (y de la existencia de los átomos) es uno de los temas más complejos en la enseñanza de las ciencias al presentar multiplicidad de dificultades recurrentes que parten principalmente del hecho de que su aprendizaje no es natural e intuitivo (Benarroch, 2000). En este trabajo, con estudiantes de

primer semestre universitario, partimos del supuesto de poder emplear el modelo corpuscular en su nivel más básico, que implica asumir que nuestros estudiantes saben que la materia está formada por partículas y que una de las más básicas es el átomo, y nos adentramos desde una perspectiva más exploratoria que propiamente explicativa para estudiar la idea que tienen nuestros estudiantes acerca del tamaño de éste.

Metodología

Como parte del programa de la asignatura Química Básica para primer semestre de algunas de las carreras de ciencias en la Universidad Nacional de Colombia, se tienen establecidas dos unidades temáticas consideradas fundamentales en el proceso de formación de los futuros egresados: estequiometría (de reacciones y de partículas) y estructura atómica. Ambas unidades son mutuamente dependientes y se trabajan al inicio del curso mencionado. Como parte del mismo, antes de iniciar estos contenidos, se preguntó a 45 estudiantes de la carrera de Biología ¿qué tan grande es un átomo? (respuesta pre) y la pregunta se repitió al finalizar las unidades correspondientes (respuesta post). Se hizo una pregunta abierta con el objetivo de explorar la amplia variedad de explicaciones que los estudiantes dan al interrogante (Gilbert, Boulter y Rutherford, 2000). Antes que partir de categorías previamente establecidas, usamos las mismas respuestas para agruparlas e intentar buscar categorías que den una explicación acerca de las concepciones de los estudiantes sobre la pregunta formulada.

Las respuestas son una serie de frases abiertas puramente descriptivas, que ofrecen una amplia variedad de resultados cualitativos que se analizaron mediante el empleo de redes sistémicas (Bliss, Monk

y Ogborn, 1983). Una red sistémica es una manera de agrupar y categorizar cosas, en este caso las frases, de manera parsimoniosa, a la vez que preserva las relaciones entre las diferentes categorías, de manera tal que los datos pueden ser analizados entre grupos (Tunnicliffe, 1998; Spiliotopoulou y Ioannidis, 1996; Patronis, Potari y Spiliotopoulou, 1999). Dichas redes sirven, en este caso, para categorizar y describir la concepción que tiene el grupo de estudiantes sobre el tamaño de un átomo. La red despliega las relaciones entre las diferentes concepciones al ser un sistema de codificación analítico y un esquema de representación del conocimiento; a través de la red es posible comparar cómo evoluciona y cambia la concepción sobre el tamaño del átomo antes y después de la intervención en el aula.

Para la elaboración de la red se transcribieron y leyeron las respuestas, se hizo un resumen general cualitativo de las mismas (primera impresión), se identificaron las categorías y las subcategorías, se leyó cada una de las respuestas para ver su ajuste a la red con las categorías y subcategorías existentes, se hicieron ajustes en la red y nuevamente se leyeron las respuestas. Se definieron los aspectos notacionales (BAR, BRA), se hicieron nuevos ajustes, se realizó una verificación final y se hizo el conteo de las respuestas por categorías y subcategorías. Finalmente se compararon las dos redes y se interpretaron los resultados.

Resultados

La figura 1 presenta la red sistémica de las respuestas del cuestionario pre; éstas se han agrupado en seis categorías no excluyentes, que van desde la utilización de un lenguaje más científico a uno más cotidiano. Así, la primera categoría de la red es la que corres-

ponde a respuestas en las que se explica el tamaño del átomo acudiendo a su identidad como la unidad fundamental *más pequeña* en la que se puede dividir la materia, y otras respuestas en las que se explica que el tamaño varía según el elemento, identificando diferencias en los radios atómicos. En estas explicaciones se emplean términos propios de las descripciones que aparecen en los libros de texto. En la segunda categoría las respuestas hacen referencia al orden de magnitud (en algunos casos la explicación del tamaño se da a través de los datos de radios atómicos en nm o Å), estas respuestas son más "operacionales" ya que emplean unidades de medida y es importante resaltar que todas ellas están en órdenes de magnitud correspondientes al nivel microscópico.

Una tercera categoría, hace referencia a la imposibilidad de ver un átomo a simple vista o incluso con la ayuda de un microscopio; esta categoría empieza a mostrar la tendencia sobre lo problemático que puede ser entender el carácter corpuscular de la materia, ante la imposibilidad de percibirlo directamente a través de los sentidos (Benarroch, 2001), y es una categoría frontera que "abre la puerta" a la amplia variedad de respuestas de las categorías subsiguientes, donde las respuestas se encuentran matizadas por un lenguaje más cotidiano en el que predominan el empleo de analogías, el uso de adjetivos y las referencias al nivel macroscópico (Ver Figura 1).

En la categoría que denominamos *Uso de comparaciones*, hemos establecido dos subcategorías, la de las comparaciones que hacen referencia a conceptos "científicos" como la célula, la molécula e incluso partículas subatómicas; y otra donde los estudiantes hacen su analogía referida a comparaciones entre elementos del mundo cotidiano, como la relación entre un planeta

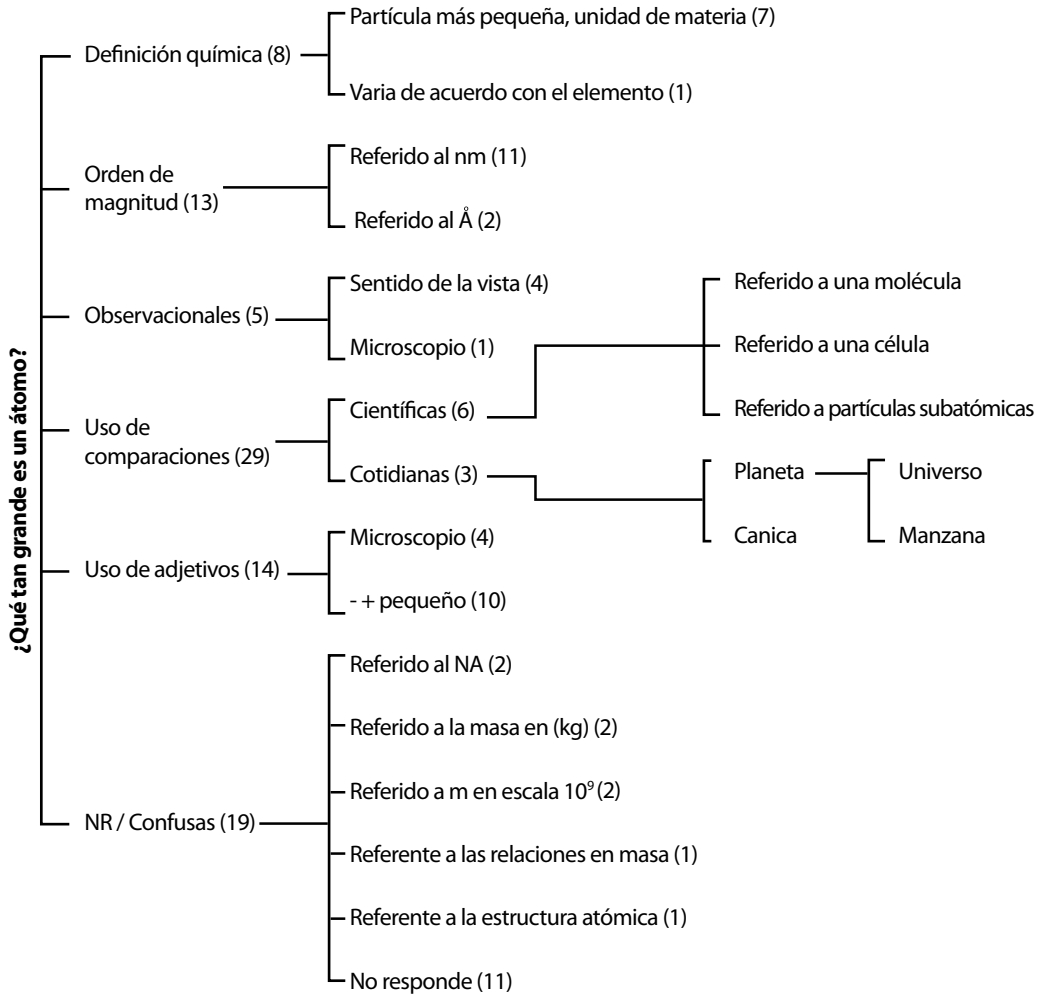


Figura 1. Red sistémica de las respuestas a la pregunta *¿qué tan grande es un átomo?*, antes de la intervención didáctica. (Los números indican la cantidad de respuestas dentro de cada categoría).

y una manzana o una canica y un campo de fútbol. Los estudiantes que hacen referencia a la célula (cuatro respuestas) muestran apropiación del conocimiento adquirido en sus clases de biología general, al ser capaces de integrar sus conceptos a respuestas en otros contextos, ya que en su curso básico de biología se les había hablado del tamaño de las células más pequeñas y por eso las usan como referente.

En la siguiente categoría las respuestas se caracterizan por el uso de adjetivos que dan idea de tamaño, como *microscópico* o *pequeño*. El uso del adjetivo *microscópico* muestra cómo este término se sigue asociando al contexto de las partículas sin reparos en la dimensionalidad y la relación de escala entre lo micro y lo nanoscópico. El adjetivo *pequeño* va siempre acompañado de adverbios como *muy* o *demasiado*, una aproxima-

ción cualitativa que sucede aún en los libros de texto, a pesar de que muestren carencia en el empleo de un lenguaje más científico. Finalmente aparece la categoría de los estudiantes que no responden o que presentan respuestas confusas donde, por ejemplo, se menciona que el tamaño de un átomo es el inverso del número de Avogadro, o que su tamaño equivale a cierta cantidad en kilogramos o donde se da respuesta a la pregunta explicando que un átomo es como el sistema solar donde los electrones son como planetas. En esta categoría se encuentra la mayor cantidad de respuestas, con una amplia participación de la subcategoría *Sin respuesta*.

El análisis de la red sistémica de las respuestas posteriores al estudio de los temas de estequiometría y estructura atómica, muestra una red más amplia que evidencia, a simple vista, una mayor complejidad en las respuestas. No obstante, las categorías de las *Respuestas pre* se mantienen, al poder ser ubicadas todas las respuestas del instrumento *Respuestas post* en las mismas seis clases. En la tabla 1 se presentan resultados consolidados (numéricos y porcentuales) de las dos redes para las categorías y subcategorías analizadas.

(Ver Figura 2).

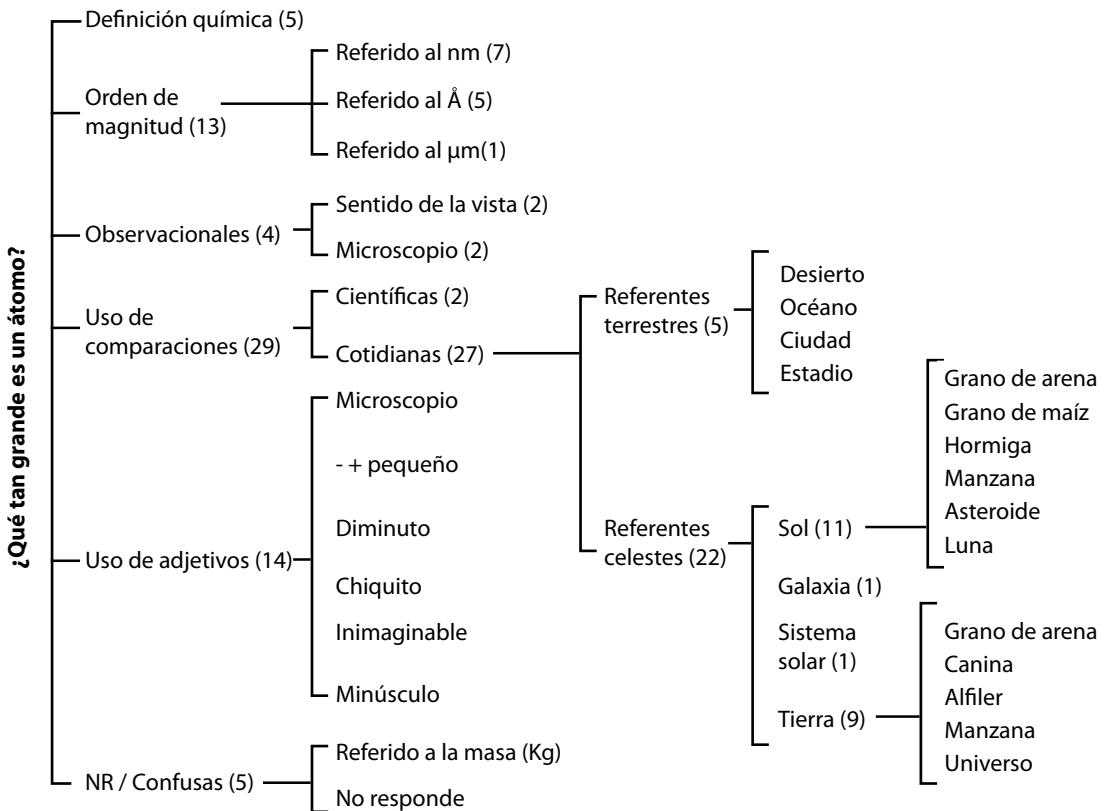


Figura 2. Red sistémica de las respuestas a la pregunta * qu  tan grande es un átomo?*, después de la intervención didáctica (Los números indican la cantidad de respuestas dentro de cada categoría).

En la categoría de la definición química desaparece la respuesta relativa a la diferencia que existe entre el tamaño de los átomos dependiendo de la clase de elemento, y se mantienen las descripciones en función de la definición de la partícula fundamental; las respuestas en esta categoría disminuyen de un 11,6% a un 6,7%. En lo referente a las respuestas relacionadas con el orden de magnitud, aparece una referencia a la micra y se incrementan las definiciones en las que se hace referencia al Å, en términos porcentuales no se aprecian grandes diferencias. Con respecto a la categoría tres, las definiciones se mantienen prácticamente invariables, así como los resultados de la categoría del uso de adjetivos, donde el número de respuestas se conserva pero proliferan nuevos adjetivos como *diminuto*, *chiquito*, *inimaginable* y *minúsculo* que dejan ver una apropiación de la idea del tamaño del átomo en el lenguaje que los estudiantes manejan cotidianamente (Ver Tabla 1).

El cambio más importante en la comparación de las dos redes radica en las definiciones que hacen uso de las comparaciones o analogías, que pasaron de 9 a 29 respuestas en el instrumento post (del 12,0 al 40,7 %). A pesar de que se mantienen las cuatro respuestas referidas a la célula (dadas por los mismos estudiantes), se ve incluso en las definiciones de estos cuatro individuos que incluyen analogías referentes a elementos cotidianos (aumentaron un 31%); este hecho puede estar reflejando la propensión a imaginar la materia en términos macroscópicos (Benarroch, 2000). Para éstas hemos establecido dos subcategorías: las que tienen referentes celestes, en cuanto mencionan el universo, la galaxia, el sistema solar, la tierra y la luna; y otra con referentes terrestres que mencionan lugares que los estudiantes consideran "grandes", como el desierto, el océano, un estadio y una ciudad.

La respuesta a la pregunta ¿qué tan grande es un átomo? se caracteriza en esta etapa del proceso por descripciones como: "Es diminuto, es como un grano de arena comparado con el sol", donde se hace presente un adjetivo inicial y luego sí la comparación o comparaciones, como si el estudiante considerara necesario demostrar su conocimiento sobre el tema dando un ejemplo a pesar de que no tiene especial cuidado al acudir al orden de magnitud de lo que compara. Este tipo de comparaciones está asociado al ejemplo que se encuentra en el capítulo correspondiente en los libros de texto, donde se leen comparaciones de este tipo para hacer entender fácilmente las consecuencias de los experimentos de Rutherford (el átomo es principalmente espacio vacío, que contiene "un centro denso, muy pequeño llamado núcleo" donde está acumulada casi toda la masa del átomo; el diámetro del núcleo es 1/10 000 a 1/100 000 veces más pequeño que el radio total del átomo) al mencionar el tamaño relativo del núcleo comparado con el tamaño total del átomo: "El radio de un átomo es de aproximadamente 100 pm, mientras que el radio del núcleo atómico es de solamente 5×10^{-3} pm. Se puede apreciar la diferencia relativa entre el tamaño de un átomo y su núcleo, imaginando que si un átomo tuviera el tamaño del estadio Astrodome de Houston el volumen de su núcleo sería comparable con el de una pequeña canica" (Chang, 2002).

El otro cambio importante al comparar las dos redes se da en la categoría seis, donde el número de respuestas se reduce de 19 a 5 (del 28,4% al 6,7%), especialmente en la subcategoría *No responde*, que pasa de 11 personas que no respondieron en el instrumento pre, a solo tres que no lo hacen en esta ocasión. Así mismo, desaparecen las definiciones erróneas en las que se hacía referencia al número de Avogadro, las relaciones en masa o la estructura electró-

Tabla 1. Resultados comparativos (numéricos y porcentuales) de las dos redes sistémicas.

CATEGORIAS	SUBCATEGORIAS	PRE	POST	% PRE	%POST
DEFINICION QUIMICA (%PRE:11,6-POST:6,7)	Partícula mas pequeña Varia según elemento	7 1	5	10,4 1,5	6,7
ORDEN DE MAGNITUD (%PRE:19,4-POST:17,3)	nm � micra	11 2	7 5 1	16,4 3,0	9,3 6,7 1,3
OBSERVACIONALES (%PRE:7,5-POST:5,4)	Vista Microscopio	4 1	2 2	6,0 1,5	2,7 2,7
COMPARACIONALES (%PRE:12,0-POST:40,7)	CIENTIFICAS (%PRE:9,0-POST:5,3)	1 4		1,5 6,0	
	Molécula Célula Part. subat�m	1	4 4 1	1,5 6,0 1,5	5,3
	COTIDIANAS (%PRE:3,0-POST:34,0)	1	5	1,5	6,7
	Terrestre Celestes	1	22	1,5	29,3
ADJETIVOS (%PRE:20,9-POST:22,7)	Microscópico ...+pequeño Otros	4 10	2 11 4	6,0 14,9	2,7 14,7 5,3
NR/CONFUSAS		19	5	28,4	6,7

nica. No obstante aparecen dos respuestas donde aún se habla de unidades de masa para hablar del tamaño del átomo. Es importante, en términos de la actividad en el aula, que las relaciones en las que se empleaba el número de Avogadro ya no aparezcan, lo cual indica que los estudiantes que tenían confusión acerca de este concepto posiblemente comprendieron con qué contextos está relacionado y su verdadero significado a nivel microscópico. En este punto, es importante analizar cómo todos los estudiantes que no tenían respuesta a la pregunta propuesta se posicionan y adoptan como solución la comparación, y lo hacen con elementos que conocen, relacionando siempre algo *muy grande* con algo *muy pequeño*.

El incremento en la apropiación de la idea de qué tan grande es un átomo es positiva, no obstante resulta preocupante el amplio espectro de respuestas y las diferencias de magnitud entre las mismas, por ejemplo, si se toma la subcategoría *Uso de comparaciones: científicas-cotidianas (referentes terrestres-referentes celestes [sol])* se aprecia cómo las comparaciones van desde sol-grano de arena hasta sol-luna, donde el orden de magnitud varía en más de 10^9 (el diámetro del sol es 1 400 000 km, el de la luna es 3 476 km y el de un grano de arena es de aproximadamente 1 mm) con lo cual se aprecia que los estudiantes dan respuestas de primera mano sin cuestionarse profundamente sobre el aspecto de orden de magnitud que es relevante en la formación científica. Es necesario, después de haber dotado al estudiante de confianza para responder a la pregunta, que ahora se haga a respuestas más precisas científicamente hablando, ya que la inducción en el particular y refinado uso del lenguaje químico, es lo que marca el enfoque del entendimiento químico; el alumno sólo puede llegar a compartir las destrezas cognitivas del experto –aunque sea en un pequeño tema– adqui-

riendo movilidad representacional a partir del lenguaje cotidiano con palabras que tienen su significación desde lo familiar, ya que las palabras nuevas no encuentran fácilmente un anclaje de significación en los esquemas mentales (Galagovsky y colaboradores, 2003).

El término que el estudiante elige para dar su respuesta es un indicador de un significado especial, en el que prioriza y restringe sus ideas sobre la pregunta a una parte de su conocimiento únicamente. Muchas de las dificultades en el aprendizaje de la química parecen ser causadas por la falta de una razón explícita para usar un lenguaje restringido; al respecto, Oversby (2000) señala que los estudiantes deben definir sus roles cuando se espera que adopten el lenguaje de los químicos. Así mismo, Galagovsky y colaboradores (2003) llaman la atención sobre la necesidad de estimular a los estudiantes para que se expresen mediante tipos de lenguajes diferentes al verbal (con el cual se sienten más seguros), con el fin de evidenciar más claramente las incoherencias que pueden estar asociadas a sus errores de aprendizaje y poder contrastar en qué forma sus esquemas de representación se asemejan o difieren del de los expertos, quienes son capaces de moverse en los tres niveles de representación fácilmente, como se mencionó anteriormente. ■

Conclusiones

Las concepciones de los estudiantes encuestados acerca del tamaño de un átomo varían ampliamente y pueden ser clasificadas en seis categorías: *asociadas a la definición química de átomo, asociadas a un orden de magnitud, basadas en un criterio de observación, basadas en una comparación, basadas en el uso de adjetivos y confusas*. La concepción de los estudiantes acerca del tamaño de un átomo cambia ampliamente después de la

estrategia de aula empleada, haciéndose más común el uso de comparaciones que relacionan elementos cotidianos.

A pesar de que los estudiantes que responden a la pregunta mediante una analogía entre el tamaño del núcleo y el tamaño total del átomo no est n respondiendo realmente a la pregunta propuesta, es positivo el hecho de que la población de personas que no se atrevian a responder ahora le apuesten a la participación y se atrevan a dar respuesta. Es necesario que después de haber dotado al estudiante de confianza para responder a la pregunta, éste se haga a respuestas más científicas, donde, por ejemplo, se cuestione más acerca del empleo de los órdenes de magnitud y donde él se permita explorar niveles de representación empleando lenguajes diferentes al verbal.

Agradecimientos

Los autores desean expresar sus agradecimientos al profesor Jesús Enfedaque, de la Facultad de Formación del Profesorado de la Universidad de Barcelona, por sus aportes para el manejo de las redes sistémicas y a los pares que evaluaron el artículo como parte del proceso de publicación, por sus valiosos comentarios.

Bibliografía

- Bliss, J.; Monk, M.; Ogborn, J. (1993). *Qualitative data analysis for educational research. A guide to uses of systemic networks*. London: Croom Helm.
- Caamaño, A. y Maestre, G. (2004). La construcción del concepto de ion, en la intersección entre el modelo atómico-molecular y el modelo de la carga eléctrica. *Alambique*, 42, 29-40.
- Chang, R. (2002). *Química*. Séptima edición. México, D.F.: Mc Graw Hill.
- Farías, D. M. y Molina, M. F. (2010). Comiendo chocorramos: algunas consideraciones acerca de la enseñanza del concepto de mol. En prensa.
- Furió, C.; Azcona, R.; Guisasaola, J. (2006). Enseñanza de los conceptos de cantidad de sustancia y mol basada en un modelo de aprendizaje como investigación orientada. *Enseñanza de las ciencias*, 24 (1), 43-58.
- Gabel, D. L.; Samuel, K. V.; Hunn, D. (1987). Understanding the particulate nature of matter. *Journal of Chemical Education*, 64 (8), 695-697.
- Galagovsky, L. R.; Rodríguez, M. A.; Stamati, N.; Morales, L.F. (2003). Representaciones mentales, lenguajes y códigos en la enseñanza de las ciencias naturales: un ejemplo para el aprendizaje del concepto de reacción química a partir del concepto de mezcla. *Enseñanza de las Ciencias*, 21 (1), 107-121.
- Gilbert, J. K.; Boulter, C. J.; Rutherford, M. (2000). Explanations with models in science education. En: Gilbert, J. K., Boulter, C. J. *Developing models in science education*. (pp. 193-208). Dordrecht: Kluwer Academic Publishers.
- Hinton, M. E. y Nakhleh M. B. (1999). Students' microscopic, macroscopic, and symbolic representations of chemical reactions. *Chemical Educator*, 4, 158-167.
- Johnstone, A. H. (2000). Teaching of chemistry: logical or psychological?. *Chemistry Education: Research and practice in Europe*, 1 (1), 9-15.
- Mammino, L. y Cardellini, L. (2005). Studying students' understanding of the interplay between the microscopic and the macro-

- copic descriptions in chemistry. *Journal of Baltic Science Education*, 1 (7), 51-62.
- Martín-Sánchez, M. T., Martín, M. (2000). Algunas reflexiones sobre enseñanza de química. *Universitas Scientiarum*, 5 (1), 20.
- Nakhleh, M. B. (1993). ¿Are our students conceptual thinkers or algorithmic problem solvers? Identifying conceptual students in general chemistry. *Journal of Chemical Education*, 70 (1), 52-55.
- Nakhleh, M. B. y Mitchell, R. C. (1993). Concept learning versus problem solving: there is a difference. *Journal of Chemical Education*, 70 (3), 190-192.
- Nurrenbern, S. C. y Pickering, M. (1987). Concept learning versus problem solving: is there a difference? *Journal of Chemical Education*, 64 (6), 508-510.
- Oversby, J. (2000). Models in explanations of chemistry: the case of acidity. En: Gilbert, J. K., Boulter, C. J. *Developing models in science education*. (pp. 227-251). Dordrecht: Kluwer Academic Publishers.
- Patronis, T.; Potari, D.; Spiliotopoulou, V. (1999). Students' argumentation in decision-making on a socio-scientific issue: implications for teaching. *International Journal of Science Education*, 21 (7), 745-754.
- Pickering, M. (1990). Further studies on concept learning versus problem solving. *Journal of Chemical Education*, 67 (3), 254-255.
- Sawrey, B. A. (1990). Concept learning versus problem solving: revisited. *Journal of Chemical Education*, 67 (3), 253-254.
- Spiliotopoulou, V.; Ioannidis, G. (1996). Primary teacher's cosmologies. The case of the "Universe" In: Welford, G.; Osborne, J.; Scott, P. (Eds.) (1996) *Research in science education in Europe. Current issues and themes* (pp. 337-350). London: The Falmer Press.
- Steiner, R. (1986). Teaching Stoichiometry. *Journal of Chemical Education*, 63 (12), 1048.
- Tunnicliffe S. D. (1998). ¿Boy talk/girl talk: is it the same at animal exhibits? *International Journal of Science Education*, 20 (7), 795-811.