

Cambios en las representaciones sobre estructura de la materia en estudiantes entre secundario básico y universidad

Carlos Espíndola¹ y Osvaldo Cappannini²

¹Colegio Nacional "R. Hernández" (UNLP) y Grupo de Didáctica de las Ciencias, IFLYSIB (CONICET-UNLP-CIC). E-mail: carespin@yahoo.com. ²Grupo de Didáctica de las Ciencias, IFLYSIB (CONICET-UNLP-CIC), Argentina. E-mail: cappa@iflysib.unlp.edu.ar

Resumen: En el presente trabajo se realiza una comparación entre respuestas de estudiantes secundarios (en dos momentos diferentes de su formación) y de primer año universitario a diversos instrumentos de diagnóstico sobre representaciones de la materia. Las respuestas obtenidas sugieren no sólo la existencia de grupos de estudiantes con visiones similares aunque diferentes de las esperadas desde la visión docente, sino que las categorías identificadas para estas representaciones, coherentes con las halladas en otras investigaciones sobre el tema, no varían en el conjunto de estudiantes considerado. Del análisis realizado se registran ideas análogas en estudiantes de universidad (de diferentes carreras) y de inicios de la escuela secundaria aún cuando se comprueba la incorporación de términos acordes a una visión microscópica. Se discute la presencia de representaciones de la materia (continuas y macroscópicas o discretas pero con características macroscópicas), que podrían constituirse en obstáculos para la incorporación de una modelización discreta y microscópica de la materia. Se sugieren, finalmente, propuestas de trabajo docente a desarrollar que podrían ayudar a prevenir el tipo de dificultades mencionadas para intentar evitar la situación indicada.

Palabras clave: ideas previas estudiantes, estructura materia, modelos.

Title: Changes in representations about structure of matter in basic secondary and university students.

Abstract: a comparison is made in this article between responses from secondary (in two different stages of their learning) and first year university students to various diagnostic instruments about matter representations. The obtained responses suggest not only the existence of groups of students with similar points of view (though different than those expected from the school demand) but that the identified categories for these representations, in agreement to those found by other researchers, do not change in the students being considered. Similar ideas are found in university students (belonging to various careers) and secondary school beginners though there is a change in terminology corresponding to a microscopic model. A brief discussion is made about the existence of continuous and macroscopic or discrete but with macroscopic characteristics of their constituents, which may generate learning obstacles in items which need a discrete and microscopic model of matter. Finally, working proposals

are suggested to try to prevent the referred difficulties and try to stay away from the described situation.

Key words: student alternative ideas, structure of matter, models.

Introducción

En las últimas décadas se ha afianzado la idea de que, en su relación con el medio ambiente, cada ser humano construye un conocimiento intuitivo acerca de los fenómenos que percibe. Este conocimiento es denominado de diferentes maneras: concepciones erróneas, ideas previas, conocimiento cotidiano, concepciones alternativas, etc., existiendo innumerables investigaciones sobre ellas al inicio, durante y posteriormente a la instrucción en temas de ciencia (Pozo y Gómez Crespo, 1998).

Además de identificarlas, se han analizado tanto las distintas herramientas empleadas en esa tarea (Sanmartí y Alimenti, 2004; Espíndola y Cappannini, 2006) como su influencia en el aprendizaje (Pozo y Gómez Crespo, 1998). Su consideración ha abierto un abanico de propuestas de aula (Pozo y Gómez Crespo, 1998; Giordan, Girault y Clement, 1994; Mortimer, 1998; Tudge, 1994).

Desde algunas perspectivas se ha planteado el aprendizaje de ciencias como estrechamente vinculado con el "hablar ciencias" (Lemke, 1990). Tal propuesta se ha profundizado en trabajos que reúnen el análisis del discurso en el aula con la evaluación de representaciones (Leander y Brown, 1999; Mortimer y Scott, 2002) y la relación de éstas con los modelos utilizados en ciencias, herramientas metodológicas básicas de la investigación científica (Chalmers, 1991; Lombardi, 1998). Desde esta perspectiva se promueve un uso cuidadoso, en la planificación de clases de ciencia, de la diversidad de representaciones en el aula.

Existe una gran cantidad de investigaciones referidas a representaciones sobre la estructura de la materia en estudiantes de diferentes niveles educativos (Krnél, Watson y Glazar, 1998 y 2005; Garnett, Garnett y Hackling, 1995; Eilam, 2004). E. F. Mortimer ha propuesto, a través de su idea de los perfiles conceptuales, la coexistencia de representaciones en etapas distintas de la formación (Mortimer, 1995 y 1998). En otros trabajos, realizados desde marcos teóricos diferentes, se ha intentado evaluar los cambios en estas representaciones a través de estudios longitudinales, es decir, considerando estudiantes en diferentes etapas del sistema educativo (Benarroch, 2001; Johnson, 1998). En estos últimos se sugiere un posible recorrido desde representaciones continuas que implican desde miradas macroscópicas hasta modelos discretos y microscópicos compatibles con el conocimiento aportado desde la ciencia. Tales modificaciones se proponen asociadas al desarrollo cognitivo de los sujetos o bien al desarrollo curricular planteado por la educación formal.

Nuestro punto de partida fue considerar que lo expresado en su propio lenguaje por estudiantes de 12-13 años acerca de la disolución de un sólido en un líquido, constituía un reflejo de sus representaciones (Leander y Brown, 1999; Mortimer y Scott, 2002). De acuerdo a lo establecido por diferentes investigadores (Krnél, Watson y Glazar, 1998 y 2005; Garnett, Garnett y Hackling, 1995; Eilam, 2004; Mortimer, 1995 y 1998; Benarroch,

2001; Johnson, 1998), en esta etapa domina la representación continua de la materia o, a lo sumo, discreta pero con características macroscópicas para cada elemento constituyente de los materiales.

En segundo lugar, se supuso que el recorrido de estos estudiantes en la Secundaria Básica enriquecería sus modelizaciones sobre la estructura de la materia (acercándolos al modelo de materia discreta constituido por moléculas y átomos) y que, finalmente, el abordaje de estos temas en los cursos universitarios completaría la incorporación de la representación microscópica necesaria para afrontar la explicación de procesos de disolución (Benarroch, 2001; Johnson, 1998).

Sin embargo, cabe preguntarse qué alcance tienen estas posibles modificaciones en las representaciones de los estudiantes. En principio, ¿existe una etapa en el desarrollo personal en que la representación científica, ligada a modelos con características microscópicas, se manifiesta espontáneamente o bien la construcción de esos modelos acordes al conocimiento científico requieren de incentivos exteriores tales como los que la institución escolar brinda en la medida del avance curricular? ¿Cómo influye el trabajo desde el sistema educativo? ¿Existirá alguna manera en la cual se asegure un progreso en la adquisición por parte de los alumnos de las herramientas científicas para el análisis de problemáticas? O bien ¿alcanza la incorporación de terminología y la realización mecánica de actividades para garantizar la existencia de cambios en las representaciones que las aproximen a las precisadas desde el conocimiento escolar? Es decir ¿resulta significativo el trabajo escolar para los cambios producidos en los estudiantes, a nivel de sus representaciones, que los acerque a aquellas utilizadas por la comunidad científica?

En la intención por responder al menos algunos de estos interrogantes se realizaron, por una parte, actividades tendientes a evaluar el uso de modelos de la materia (discretos y continuos) en el análisis de situaciones cotidianas de mezcla, en estudiantes en diferentes etapas de su formación: comenzando su escuela secundaria (primer año de Educación Secundaria Básica (ESB)) y dos años después, durante el tercer año de la misma educación básica. Por otra parte, se realizó un relevamiento análogo en alumnos universitarios de diferentes carreras, finalizando su primer año.

El instrumento utilizado con 30 estudiantes de 12-13 años (de primero de ESB) consistió en una actividad exploratoria de discusión entre pares, coordinada por el docente, sobre una experiencia de disolución de azúcar en agua. La discusión fue registrada en audio y vídeo y, a partir del análisis de lo transcrito, se identificaron grupos de alumnos con representaciones distintas y contrapuestas (Espíndola y Cappannini, 2005). De cada grupo se seleccionaron varios integrantes, considerando como representativos aquellos que, de manera más definida, explicitaron sus modelos. Luego de dos años se convocó a los alumnos así seleccionados a una entrevista semi-estructurada individual, realizada por uno de los autores del presente trabajo (O.C.) y mostrada en el cuadro 2, apuntada a identificar las representaciones sobre un terrón de azúcar, una gota de agua y una gota de agua azucarada además del proceso de disolución.

Casi simultáneamente, con el mismo instrumento (ver cuadro 2) y el mismo investigador (O.C.), se entrevistó a 30 alumnos voluntarios de

primer año de distintas Facultades de la Universidad Nacional de La Plata. Se seleccionaron carreras con cursos de Química y otras que no lo tenían. Los contenidos de estos cursos incluyeron: propiedades de la materia, estructura electrónica del átomo, tabla periódica, enlace químico, fuerzas intermoleculares, estados de agregación de la materia, termoquímica, soluciones, equilibrio químico, soluciones reguladoras, electroquímica y cinética química. Se entrevistó individualmente a 6 estudiantes de carreras de Ingeniería, 6 de carreras de Ciencias Naturales y 6 de Licenciatura en Química por una parte y por otro lado, 6 estudiantes de Licenciatura en Física y 6 de Licenciatura en Informática.

Un marco adecuado de análisis de las representaciones que los alumnos, en este caso, poseen respecto de un fenómeno o concepto determinado lo configura el denominado método fenomenográfico (Marton, 1981; Ebenezer y Fraser, 2001). En este método no se establecen categorías a priori sino que ellas deben surgir del análisis de lo expresado por los entrevistados caracterizando el espacio de representaciones de los estudiantes en relación a un tema o contenido específico.

En este trabajo se muestran las representaciones sobre la materia identificadas a partir de los datos obtenidos en estas distintas instancias, que permitió un estudio comparativo considerando estudiantes en diferentes etapas de formación. Las respuestas obtenidas en el nivel medio posibilitaron, además, identificar la existencia de grupos de estudiantes con ideas homogéneas pero diferentes a las de otros grupos, reflejando una diversidad de representaciones a tener en cuenta para el diseño de actividades en el aula de ciencias. En el nivel universitario se apuntó a evaluar la incorporación de los modelos científicos y la incidencia de la formación disciplinar.

Las representaciones y los fenómenos naturales

En el esquema de la figura 1 se propone una relación entre categorías de representaciones de los estudiantes sobre la materia (tal como se registra en otros trabajos de investigación), los fenómenos naturales observables y a interpretar y la posible articulación con el conocimiento científico.

El esquema presenta tres posibles maneras de iniciar su recorrido: la primera comienza con las representaciones de los estudiantes (desde la parte superior); una segunda forma sería a través del conocimiento científico (a mitad del esquema) vinculado a leyes fenomenológicas y teorías científicas que el sistema educativo introduce y, por último, desde la parte inferior del esquema, con los fenómenos naturales que enfrenta el alumno a través de la observación e interpretación.

En la parte superior se establecen dos categorías: una representación continua y otra discreta. La representación continua remite a un modelo macroscópico ligado al nivel sensible y al establecimiento de leyes fenomenológicas. La representación discreta, por su parte, se vincula a un modelo microscópico relacionado con las teorías correspondientes. Sin embargo, en la literatura sobre investigación en didáctica de las ciencias, se refleja la existencia de representaciones que implican la asignación de características macroscópicas a los elementos discretos (partículas) constituyentes de la estructura material (Mortimer, 1995 y 1998; Johnson,

1998; Flores Camacho, Gallegos, Garritz y García Franco, 2007). Esta categoría se ha indicado como modelos macro-discretos.

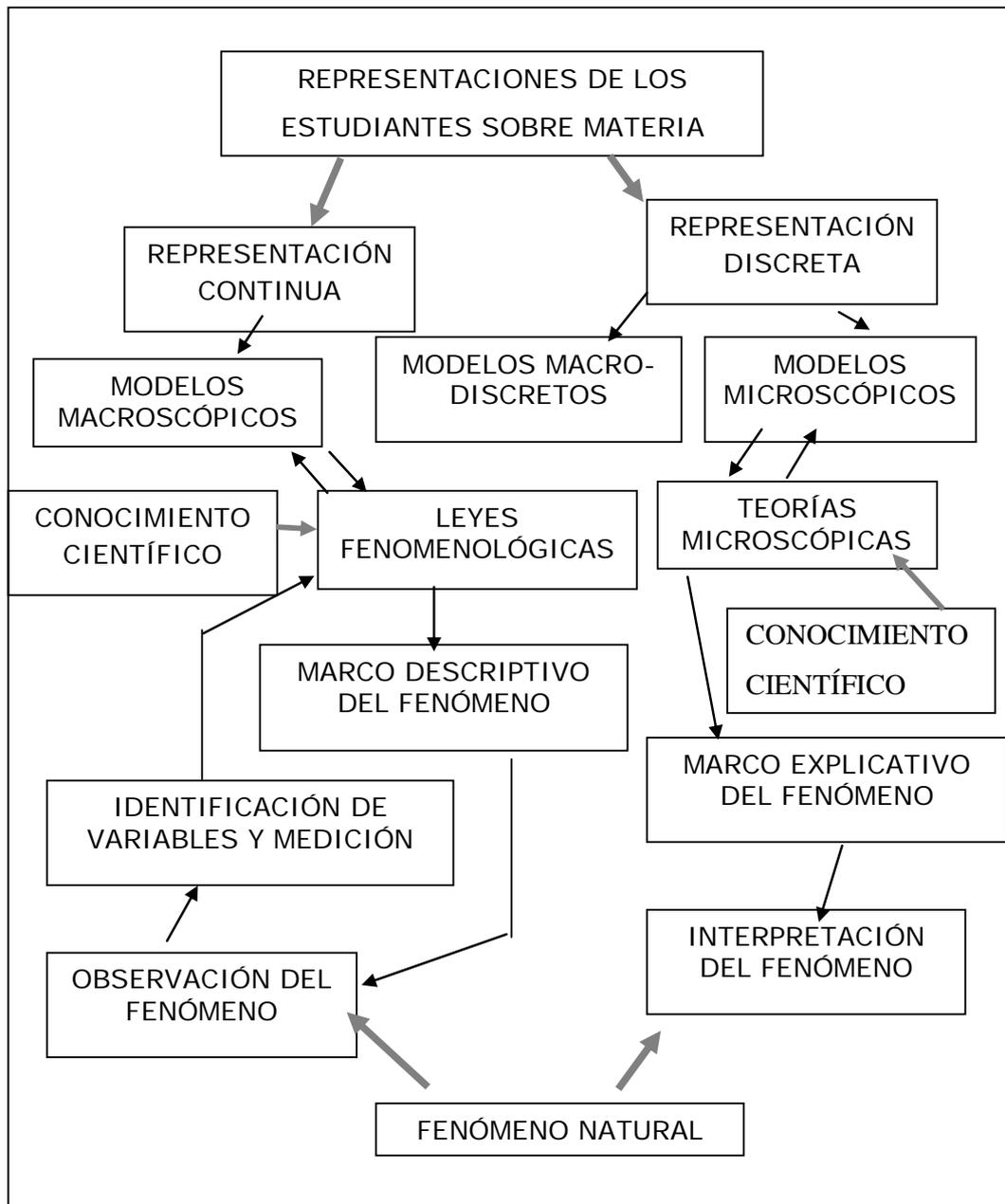


Figura 1.- Esquema sobre representaciones de los estudiantes, interpretación de fenómenos naturales y la articulación con el conocimiento científico.

En la parte inferior de la figura 1, se incluyen los fenómenos naturales observables y que la ciencia intenta interpretar. Mediante la modelización del fenómeno se identifican parámetros y variables, cuyas relaciones pueden ser expresadas mediante leyes.

Los conocimientos científicos introducidos en clases de ciencias proveen un conjunto de leyes fenomenológicas que conjugan variables medibles e interdependientes. En esta esfera sensible, macroscópica, que permite una descripción de los fenómenos naturales, se acude a una representación

continua de la materia. Sin embargo, el aprendizaje de ciencias, como el caso de la Química, requiere la incorporación de teorías y modelos que se hallan en la esfera microscópica, con las que se aportan pautas explicativas de los fenómenos naturales. La visión discreta de la materia, precisamente, se halla en relación directa con esta esfera. La existencia sólo de representaciones continuas y macroscópicas puede constituir un obstáculo para la articulación con estas teorías científicas explicativas (Flores Camacho, Gallegos, Garritz y García Franco, 2007).

Tanto Johnson (1998) como Benarroch (2001) han planteado que, aún cuando los estudiantes aceptan fácilmente el modelo corpuscular, no lo utilizan de forma espontánea y consideran que pueden explicar los fenómenos naturales desde lo cotidiano (mediante argumentos extraídos del nivel sensible) sin acudir a una representación discreta de la materia. Sólo cuando la situación los induce de alguna manera (tal como en el contexto escolar) utilizan un lenguaje que remite a esa modelización discreta, lo cual puede provocar contradicciones, como por ejemplo, el adjudicar propiedades macroscópicas a entidades propias de la visión discontinua (Gutiérrez Julián, Gómez Crespo y Pozo, 2002). Así, las herramientas explicativas planteadas en el ámbito escolar carecen de sentido desde el ángulo epistemológico del estudiante y sólo serán utilizadas a fin de cumplir con la exigencia requerida por el contexto escolar (Mortimer y Scott, 2002). Es decir, el lenguaje propio de, por ejemplo, la teoría corpuscular se convierte en un elemento de adaptación a lo exigido desde el ámbito escolar en lugar de constituir un instrumento explicativo.

Relevamiento de representaciones

En el marco de una evaluación diagnóstica preliminar al tratamiento del tema estructura de la materia, se introdujo a los estudiantes de primer año de Escuela Secundaria Básica (ESB) en una discusión entre pares en torno de la disolución de azúcar en agua (Espíndola y Cappannini, 2005).

Durante dos clases previas al desarrollo temático de la constitución de la materia, se les planteó analizar la disolución. En la primera de ellas se llevó a cabo la visualización del proceso de disolución de azúcar en agua, sin aclararles el tipo de sólido ni líquido utilizado. Se entregó a los alumnos terrones de azúcar a efectos de una inspección minuciosa, acompañado de una encuesta individual sencilla sobre sus aspectos físicos (¿Qué aspecto tiene el material?). A continuación los alumnos observaron el proceso sufrido por los terrones, desde su agregado al agua hasta su completa disolución, pasando de mano en mano el recipiente donde ocurría el fenómeno. Luego respondieron en forma escrita e individual a la pregunta "¿Qué ocurrió cuando se introdujo el sólido en el vaso con agua?".

La segunda clase se inició solicitando a los alumnos su comentario sobre el proceso que habían visualizado en la clase previa, sin aclararles en ningún momento respecto del material constituyente de los terrones, dándose lugar a una discusión entre ellos. Durante la misma resultó particular el rol asumido por el docente a cargo del curso, quien actuó como coordinador, permitiendo con ello la explicitación de las distintas ideas de los alumnos (Espíndola y Cappannini, 2005). El docente (uno de los autores del presente trabajo, C.E.) inició la actividad proponiendo el tema a discutir,

pero su tarea posterior se redujo a habilitar en el uso de la palabra a los alumnos que lo requirieran, a repetir expresiones asegurando que los contenidos fueran escuchados por toda el aula y a formular sólo preguntas que llevaran a aclarar las opiniones vertidas cuando resultara apropiado, evitando emitir juicios de validación. Otro docente-investigador (O. C.), se ocupó de registrar en audio y video las distintas alternativas de la clase.

Lo registrado en audio y vídeo permitió la identificación de los alumnos en cada intervención pudiéndose así agruparlos de acuerdo a las ideas que manifestaban. Se procedió a identificar, además, tramos de la discusión centrados en diferentes temas evidenciando una "trayectoria" seguida en la discusión, en la que influyó la coordinación del docente mediante técnicas descritas en recientes trabajos (Espíndola y Cappannini, 2005) y que han sido analizados en el marco de las categorías de Leander y Brown (1999) y Mortimer y Scott (2002). En dicha discusión, se pudieron recuperar indicios de las representaciones de estos alumnos acerca de la estructura de un terrón de azúcar y de la interacción con el agua en la que se disolvía. De las explicaciones acerca del proceso mencionado se identificaron a partir de un análisis fenomenográfico (Marton, 1981; Ebenezer y Fraser, 2001) las características salientes de dichas representaciones y se identificaron grupos que compartían ideas semejantes.

Uno de los grupos, con una visión macroscópica continua, fue denominado S ya que uno de los estudiantes, identificado mediante esa letra, realiza en el transcurso del encuentro una mejor descripción del modelo utilizado por el grupo. Otro grupo, que llamamos A, llega a bosquejar un modelo discreto durante la actividad (con asignación de características macroscópicas a las partículas constituyentes) y es a través de las expresiones del estudiante A donde más claramente se identifica esa representación. De esos grupos, representados entonces, por los estudiantes S y A, se seleccionaron dos conjuntos de frases, ordenadas según aparecieron durante la discusión entre pares y volcadas al cuadro 1.

De las frases de S se infiere un modelo macroscópico continuo de coexistencia de distintos estados de agregación: el terrón de azúcar muestra, al ser introducido en el agua, una fase gaseosa ("...Una parte, cuando larga los globitos... ya se hace gaseosa..."), otra líquida que se combina con el agua ("...por abajo, larga una parte líquida que es un líquido que yo cuando lo dejé quieto vi que estaba saliendo...") y otra constituida por partes sólidas pequeñas que no se mezcla ("...Y después lo otro, me parece que puede que quedaban partes chiquititas, muy chiquititas... o, no creo que se hagan líquido..."), pero que formaban parte del terrón inicial concebido como sólido ("...Para mí es el terrón sólido...").

Se podría interpretar que este grupo de estudiantes se imagina al terrón como una "caja" en la cual se encuentran partes sólidas entre las cuales habría burbujas (sin hacer explícito su contenido) y líquido. Al producirse el contacto con el agua, la "caja" se desarmaría liberando su interior. Este modelo produciría un conflicto, además, con el hecho de que en las mezclas homogéneas, el estado de agregación coincide con el del componente de mayor proporción dado que, en el modelo del grupo S, el sólido contenido en la "caja" se compone de partes pequeñas ("...muy chiquititas...") que quedan en el fondo del recipiente.

S: "...Para mí es el terrón sólido. Una parte, cuando larga los globitos... ya se hace gaseosa. Larga para mí, por abajo... una parte líquida que es un líquido que yo cuando lo dejé quieto vi que estaba saliendo. Y después lo otro, me parece que puede que quedaban partes chiquititas, muy chiquititas... o, no creo que se hagan líquidas pero una parte de eso sí era líquida... era el líquido que largó al principio..."

A: "... Yo creo que ese terrón ya está... El terrón está formado ya por miles de partículas muy pequeñitas que... al salir el aire, como no pueden quedar vacíos esos espacios que hay en el terrón... entra el agua y ahí, esa presión hace como que se separe y todas las partículas que forman ese terrón, eh... se dispersan por toda el agua y quedan en toda el agua ... Y ahí es... ahí es cuando le da ese color al agua y después de un rato, seguramente, todas las partículas vuelven a bajar a, al, a la base del frasco y ya el agua vuelve, vuelve al color de antes..." (en la disolución) "... Era que las pequeñas partículas como quedamos, se dividían todas hasta quedar solamente la partícula compuesta, que no está formada por muchas sino que es ella..."

S: "... No (se deshace) en forma de partículas. Porque, por arriba, el agua largaba burbujas de aire pero por abajo (el terrón) largaba como un líquido color grisáceo... parte se evaporó y parte se hizo líquida..."

S: "... Porque las burbujitas que largaba se evaporaban pero también, como dije antes, (el terrón) largaba un líquido... por debajo que... esa sería el azúcar... Y que quedaba en el agua, por eso el agua tomó distinto color..."

S: "... (el terrón) Se mezcló. Y una parte (del terrón) se evaporó y se fue. Por ahí le dio distinto gusto (al agua) pero también (el agua) tomó distinto color. Pero para mí, las partículas (de azúcar) ya eran parte del agua; ya era todo líquido..."

S: "... Para mí es el terrón sólido. Una parte, cuando larga los globitos, esa parte ya se hace gaseosa. Larga para mí, por abajo, larga una parte líquida que es un líquido que yo cuando lo dejé quieto vi que estaba saliendo. Y después lo otro, me parece que puede que quedaban partes chiquititas, muy chiquititas... o, no creo que se hagan líquidas pero una parte de eso sí era líquida, para mí era el líquido que... que largó al principio..."

A: "... El terrón está formado ya por miles de partículas muy pequeñitas que... al salir el aire, como no pueden quedar vacíos esos espacios que hay en el terrón... entra el agua y ahí, esa presión hace como que se separe y todas las partículas que forman ese terrón, eh... se dispersan por toda el agua y quedan en toda el agua ... Y ahí es... ahí es cuando le da ese color al agua y después de un rato, seguramente, todas las partículas vuelven a bajar a, al, a la base del frasco y ya el agua vuelve, vuelve al color de antes... se disuelven tanto que van quedando partículas microscópicas..."

Cuadro 1.- Disolución del terrón de azúcar en agua. Frases de S y A.

La frase "...largaba un líquido... por debajo que... esa sería el azúcar... Y que quedaba en el agua, por eso el agua tomó distinto color..." pareciera sugerir que la mezcla se produce entre sustancias que están en igual fase, en este caso, líquido (el azúcar) con líquido (el agua).

Es importante destacar que el modelo generado para el terrón se apoya en la situación de interacción con el agua. Es decir, la representación resultaría una consecuencia de la necesidad de compatibilizar la explicación con los fenómenos observados. Se puede inferir que este grupo, entonces, recurre a lo fenomenológico para intentar explicar la disolución y se deduce una representación de características macroscópicas y continuas relacionadas con los estados de agregación.

Esta visión puede constituir un obstáculo en la incorporación de teorías y modelos microscópicos (por ejemplo, teoría de partículas en cambios de estado de agregación ó teorías atómico-moleculares en el comportamiento fisicoquímico de sustancias) en los que la aceptación de un modelo discreto constituye el punto de partida para llegar a la explicación de lo observable.

En las frases del grupo representado por A se exhiben indicios de una visión discreta ("... El terrón está formado ya por miles de partículas muy pequeñas..."). Aunque cercana a la teoría de partículas, esta representación mantiene algunas características macroscópicas sosteniéndose en la visión discreta ("...y todas las partículas que forman ese terrón, eh... se dispersan por toda el agua y quedan en toda el agua... Y ahí es... cuando le da ese color al agua y después de un rato, seguramente, todas las partículas vuelven a bajar... a la base del frasco y ya el agua vuelve, vuelve al color de antes..."). Para este grupo, el terrón es un sólido con poros. Pareciera que esta imagen los encamina a una estructura discreta del terrón más allá de lo observable. En la descripción de la disolución se indica que el aire es distinto que el terrón y que el agua tiene un rol activo ("...entra el agua y ahí, esa presión hace como que se separe...") aunque mantienen sus características macroscópicas.

La representación para el terrón en este grupo de alumnos consiste en una estructura conformada por un conjunto de partículas pequeñas entre las cuales hay espacios llenos de aire (que no pueden quedar vacíos). Al colocar el terrón en el agua, el aire sale dejando lugar a que el agua entre y haga presión para separar las partículas sólidas que quedan dispersas por un tiempo, después del cual se depositan en el fondo del recipiente. Nuevamente, y de manera análoga al grupo S, la interacción con el agua auxilia en la propuesta de una modelización del terrón.

Esto indica que, en la explicación de la disolución, el grupo simbolizado por A utiliza un modelo discreto. La frase "... las pequeñas partículas... se dividían todas hasta quedar solamente la partícula compuesta, que no está formada por muchas sino que es ella..." sugiere un proceso de subdivisión continua que puede llevar a la noción de molécula si se profundiza la abstracción implícita en el modelo usado (Espíndola y Cappannini, 2006).

Dos años después se realizaron entrevistas semi-estructuradas a algunos participantes de ambos grupos (8 en total), incluyendo a los estudiantes S y A. La entrevista se planteó abarcando cuatro momentos (ver cuadro 2). El primero, para ubicar la situación del entrevistado respecto de los

conocimientos que, supuestamente, manejaba. El segundo a cuarto momentos, para identificar la representación (discreta y/o continua) sobre un grano de azúcar, una gota de agua y una solución de azúcar en agua respectivamente, sin forzar una descripción microscópica.

1. Identificación del entrevistado.
2. Sobre un grano de azúcar.
 - 2.1. ¿De qué te parece que está formado un grano de azúcar?
 - 2.2. Si pudieras mirar el grano a través de un microscopio muy potente, ¿qué verías?
 - 2.3. ¿Podrías dibujarlo?
 - 2.4. ¿Dónde estaría el azúcar en el dibujo?
3. Sobre una gota de agua.
 - 3.1. ¿De qué te parece que está formada una gota de agua?
 - 3.2. Si pudieras mirar la gota a través de un microscopio muy potente, ¿qué verías?
 - 3.3. Vuelca en un dibujo lo que resultaría.
 - 3.4. ¿Dónde estaría el agua en el dibujo?
 - 3.5. ¿Habría diferencia entre el azúcar y el agua? ¿Cuál te parece que sería?
4. Sobre agua azucarada.
 - 4.1. ¿Cómo describirías lo que sucede cuando agregamos cierta cantidad de azúcar a cierta cantidad de agua?
 - 4.2. Si lo vieras a través de un microscopio muy potente, ¿qué te imaginas que pasaría?
 - 4.3. Vuelca en un dibujo lo que resultaría.
 - 4.4. ¿Dónde estarían el agua y el azúcar en el dibujo?
 - 4.5. ¿Por qué piensas que sucede eso?

Cuadro 2.- Esquema de la encuesta semi-estructurada utilizada.

Se comenzó, desde un punto de vista fenomenográfico, con la lectura reiterada de las respuestas. El primer paso fue el de delimitar, de la desgrabación realizada, las respuestas a "¿De qué te parece que está formado un grano de azúcar?" y "¿De qué te parece que está formada una gota de agua?". En el paso siguiente se reunieron las respuestas a cada pregunta en una matriz para establecer las categorías fenomenográficas.

Estos alumnos habían participado de cursos de Química y Física en los que se profundizó en la teoría cinética y en los modelos microscópicos usados para representar a la materia en diferentes tipos de transformación (como reacciones químicas, disoluciones y cambios de fase). En las entrevistas individuales, realizadas durante el desarrollo de sus clases de

Química pero retirando a los alumnos del aula, se los consultó sobre la disolución de azúcar en agua y la constitución de ambas sustancias, temas abordados en los cursos de 2^{do} y 3^{ro} de ESB. En esta instancia del sistema educativo argentino, los estudiantes se encuentran concluyendo el ciclo básico de la enseñanza media; durante los siguientes tres años cumplirán el ciclo Polimodal o Preuniversitario antes del ingreso a la Universidad. En el cuadro 3 se incluyen algunas de las respuestas a la entrevista con los alumnos S y A, identificados ahora como S2 y A2.

S2: "... (un grano de azúcar está formado) Por partículas.... unidas... Hay, quiero decir algo de las fuerzas de repulsión pero... (no se entiende)... Está formado por átomos. .. Están enlazados entre sí; no sé qué tipo de enlace será pero... (no se entiende)...(entre los átomos)... Hay una atracción... (hay dos tipos de partículas)... Y, porque serían las del azúcar... y las del agua... Aunque después... como se mezclaría, sería otra... otra mezcla homogénea, sería como que habría algo nuevo... (el agua al microscopio).Eh... de oxígeno y de hidrógeno... el agua tiene dos oxígenos y un hidrógeno... Yo creo que vería los distintos átomos..."

A2: "... O sea, la, las partículas de azúcar se van dispersando por el agua y queda agua azucarada. Va a estar toda el azúcar distribuida... ¿Qué vinculación tendrían esas partículas con los átomos del agua? ...(piensa)... Ah, por... El átomo... los átomos del agua que se encuentran en esa misma agua con el azúcar, pero... No, no creo que haya ninguna vinculación... El azúcar, si se quiere, se puede sacar del agua... por el método de... bah, no sé cuál pero... (con un microscopio)... (piensa)... No, no creo que se llegue a ver los átomos, no... Pero, se vería... No sé, si el grano de azúcar es... es una molécula en sí ya, eso no lo creo. Supongo que se podrá dividir, pero... un poco más, me parece, pero... (no se entiende)... Se verá más grande la imagen... alguna textura... Más cosas no creo que se vean..."

Cuadro 3.- Frases de S2 y A2 (S y A dos años después de la primera actividad).

Aunque S2 utiliza terminología acorde al contexto escolar (habla de partículas y de átomos), identifica dos tipos de partículas ("...serían las del azúcar... y las del agua..."), que en la mezcla se convertirían en otro tipo ("...como se mezclaría, sería otra... otra mezcla homogénea, sería como que habría algo nuevo..."). Es decir, habría tres sustancias (azúcar, agua y agua azucarada) con lo cual se deduce que no se distingue entre mezcla y combinación y que no hay precisión en el uso de la palabra "partícula". Si bien se ha incorporado terminología ("...de oxígeno y de hidrógeno... el agua tiene dos oxígenos y un hidrógeno... Yo creo que vería los distintos átomos...") ésta no se halla articulada con una representación discontinua y microscópica de la materia. Otro aspecto que llama la atención se refleja en las limitaciones de S2 para responder a las preguntas durante la entrevista, dando lugar a muchos momentos de silencio.

Resulta importante notar que las respuestas de S2 sugieren que no se ha modificado su manera de abordar la situación, como dos años antes, ya que

se mantiene la utilización de lo observable como punto de partida para elaborar un modelo, aún cuando se entremezclan términos de una teoría microscópica. Esto se pone en evidencia al solicitársele una explicación del proceso de disolución (“... Que el azúcar va a quedar parte en el fondo... Se va a (no se entiende), se va el azúcar... y el agua va a quedar de un color distinto... el agua va a quedar distinta, no va a ser tan transparente...”) en la cual se deja totalmente de lado el uso de términos que sí aparecieron ante preguntas explícitas sobre la constitución de las sustancias involucradas (“... Por partículas... unidas... Ay, quiero decir algo de las fuerzas de repulsión pero... (no se entiende)... Por, por átomos... (no se entiende)... .. Eh... de oxígeno y de hidrógeno... el agua tiene dos oxígenos y un hidrógeno...”). Es decir, la respuesta acude, tal como sucediera dos años atrás, a lo perceptible y no aparece ninguna conexión con elementos de una representación discreta y microscópica de la materia.

Por su parte, en las palabras de A2 se muestra una idea mucho más clara respecto de la disolución (“...las partículas de azúcar se van dispersando por el agua y queda agua azucarada...”) diferenciando este proceso de una reacción química (“...El átomo... los átomos del agua que se encuentran en esa misma agua con el azúcar, pero... No, no creo que haya ninguna vinculación...”). La aclaración hecha al principio de la frase citada acerca de los átomos que constituyen el agua, sugiere que se concibe a la misma como un compuesto (“... También está formada ya por átomos... Bueno, no sé, sé que... por qué átomos está formada... La fórmula es “hache-dos-O”... Un átomo de oxígeno y dos de hidrógeno... Bueno, esto es un enlace... no me acuerdo la palabra... Un enlace covalente o iónico, creo que es... No me acuerdo...”). El comentario (“... El azúcar, si se quiere, se puede sacar del agua...”) afianza la idea de un proceso físico microscópico.

Al igual que con el agua, ante la pregunta sobre la constitución del grano de azúcar, A2 responde mediante un modelo microscópico discreto en el cual la interacción entre átomos es central (“... Está formado por átomos. .. Están enlazados entre sí; no sé qué tipo de enlace será pero... Hay una atracción...”). Esto sugiere que se han incorporado las características esenciales de la teoría de partículas y elementos básicos de la teoría atómica, mostrando una mayor coherencia en el uso de términos como “átomo” o “mezcla” y mayor claridad respecto de los fenómenos considerados, aún cuando se evidencian aspectos de la teoría que no resultan lo suficientemente claros (los enlaces entre átomos, por ejemplo). Esto podría constituir un obstáculo para la utilización de la energía como herramienta y que induce a profundizar en la investigación de este tema.

Con respecto a la pregunta sobre lo observable a través de un microscopio, A2 claramente limita lo sensible (“... Se verá más grande la imagen... alguna textura... Más cosas no creo que se vean... No. Me imagino el... granito amplio, blanco y no sé...”) al mismo tiempo que especifica el alcance (“...No, no creo que se llegue a ver los átomos, no...”). Su respuesta muestra una distinción entre la abstracción de un modelo basado en átomos y lo perceptible.

Entrevistas voluntarias semejantes siguiendo el esquema del cuadro 2 se realizaron a estudiantes universitarios de distintas carreras. Se escogieron estudiantes que hubieran cursado Química en el primer año (cursos en los

que se abordó el tema disoluciones desde una descripción microscópica y se analizó el fenómeno utilizando herramientas de Termoquímica) y en los que, además, los conceptos buscados fueran básicos en su desarrollo disciplinar y otros en los que estas condiciones no se cumplieran. De esta forma se seleccionaron estudiantes, por un lado, de Química (Q), Ingeniería (Ing) y Ciencias Naturales (N) y, por otro, de Física (F) e Informática (If).

Sus comentarios sobre la constitución de un grano de azúcar, una gota de agua y la disolución de azúcar en agua se registraron en audio. Los cuadros 4 a 7 muestran algunas frases representativas. De lo expresado, se separaron las respuestas considerando los modelos sustentados por los estudiantes análogamente a lo realizado con los alumnos de ESB, es decir, apuntando a establecer la matriz de respuestas que delimitaran, sin partir de categorías a priori, el espacio de representaciones para lo analizado (Marton, 1981; Ebenezer y Fraser, 2001). Las frases de los estudiantes refieren a modelos diferentes que permiten generar cuatro categorías (macroscópicas continuas, discretas con características macroscópicas, discretas más avanzadas y diversas sustitutivas con uso inconexo de elementos disciplinares) que se describen a continuación.

Macroscópicas continuas (ver cuadro 4)

N5: "... (está formado)... (piensa)... De cosas... Eh... Bueno, compuestos... compuestos químicos sólidos... compuestos... unidos entre sí... un compuesto orgánico...Eh... que se corta... el azúcar se deshace...y se va uniendo... Y porque si el azúcar se une entera al agua se iría quedando... una cosa sólida... Si quiero hacer un compuesto homogéneo, eso se tiene que ir separando en tantos... en tantas partículas que se hagan todo un compuesto acuoso... En partículas acuosas... De los elementos de la tabla periódica o no... compuestos orgánicos..."

If4: "... (piensa)... Lo veo como un diamante, medio cuadrado... está formado, me parece, por láminas... la veo así, medio... Con el color del, del diamante, un poco más turbio... y, eh, hecho de láminas, así todas láminas..."

Ing5: "Y, tiene muchos componentes... eh, químicos... no sé bien, el grano de azúcar... puede estar formado por agua y muchas cosas más químicas, no sé bien que... que puede llevar bien... lo que sería... (¿qué vería?), Y, vería, vería muchos... como si fueran... A ver, una cosa así... (dibuja)... Si tengo un grano de azúcar... vería todos componentes mezclados... no sé que, llevaría agua con... no tengo, no sé mucho, química no tuve..."

Cuadro 4.- Frases seleccionadas de estudiantes con representaciones macroscópicas continuas sobre la constitución de un grano de azúcar y sobre qué sucede con el azúcar en el agua.

Las frases de estos estudiantes reflejan una representación que parte de lo observable ("...Lo veo como un diamante, medio cuadrado... está formado... por láminas... la veo así, medio... Con el color del, del diamante,

un poco más turbio...”, según If4) y que evidencian una mirada estrictamente macroscópica y continua de la materia. La alusión a componentes se limita a términos de contenido indefinido (“...compuestos químicos sólidos... unidos entre sí... un compuesto orgánico...”, para N5 y “...tiene muchos componentes... químicos... no sé bien, el grano de azúcar... puede estar formado por agua y muchas cosas más químicas...” según Ing5). Ing5, además, adjudica sus limitaciones al poco acceso a información disciplinar (“...no sé mucho, química no tuve...”).

Discretas con características macroscópicas (ver cuadro 5)

N1: “... De ciertos componentes blancos... (no se entiende)... Un azúcar en trozos (mientras dibuja)... serían muchos puntos unidos formando granos... Este grano, este sería... una molécula... (no se entiende, habla mientras dibuja)... esto estaría todo unido así...”

N3: “... Se unen... O sea, las partículas del azúcar con las del agua, se van a unir... se van a mezclar y... no se va a notar la diferencia entre una y otra...”

If1: “... (piensa)... El azúcar lo sacan de la caña... por algún proceso... (cómo lo vería)...(piensa)... Un... (no se entiende) cristalino, me da la impresión que tiene... digamos un cristalcito... (dibuja algo) Así... con una forma redonda... Se vuelve partículas muy chiquitas... Se disuelve... se, se forma un... es como si el agua... lo absorbiera y está eso en partículas muy chiquitas, en moléculas...”

Ing4: “Y, está formado por... para mí tiene átomos ¿sí?... y cada uno tiene una composición cristalina, creo, me parece a mí, no sé...es lo que tengo yo, no sé... (el grano) Y es eso, yo que sé... para mí tiene... una cantidad de átomos... y cada uno tiene una composición cristalina igual a la otra... creo... Y, se disuelven las partículas (parece preguntar más que afirmar), ¿sería ahí?... O los átomos... o no sé, o las moléculas... Algo se disuelve... y pasa a estar... en el agua... disuelta, dispersa en todos lados, ¿no?... del agua...por ejemplo, la molécula... de la... del agua más la molécula del azúcar... Esta es la molécula... del agua y esta la molécula del azúcar ¿no?... bueno... se conectan, vendría a ser, me parece a mí por... no sé, a ver... por los electrones (parece preguntar más que afirmar)...A ver eso... ¿puede ser por las cargas que tenga cada uno?... Yo creo que está muy relacionado esto con Química... ¿no?... Y acá, bueno, entra, entra en juego la tabla periódica, me parece, cada elemento... supongo...Y los aniones y cationes de uno... los aniones de uno se juntan con los cationes del otro...bueno, algo así... creo que debe ser algo así, no sé...”

Cuadro 5.- Frases seleccionadas de estudiantes con representaciones discretas con características macroscópicas sobre la constitución de un grano de azúcar y sobre qué sucede con el azúcar en el agua.

Estos estudiantes utilizan descripciones que, sin dejar de ser macroscópicas (“...De ciertos componentes blancos...”, según N1 y “... El azúcar lo sacan de la caña... por algún proceso... Un... cristalino, me da la

impresión que tiene... digamos un cristalcito... Así... con una forma redonda...”, según If1), sugieren además una concepción discreta de la materia (“... Un azúcar en trozos... serían muchos puntos unidos formando granos...”, según N1 y “...O sea, las partículas del azúcar con las del agua se, se van a unir...”, según N3). Aún así, estos componentes presentan nombres y características singulares: pueden ser denominadas como “átomos” o “partículas” indistintamente pero con propiedades del nivel macroscópico (“...para mí tiene átomos ¿sí?... y cada uno tiene una composición cristalina...”, según Ing4 y “...las partículas del azúcar con las del agua se van a unir... se van a mezclar y... no se va a notar la diferencia entre una y otra...”, según N3), que también se manifiesta en el proceso de disolución. Así Ing4 manifiesta: “... Y, se disuelven las partículas... O los átomos... o no sé, o las moléculas... y pasa a estar... en el agua... disuelta, dispersa en todos lados...”, mientras N3 afirma: “... Se unen... O sea, las partículas del azúcar con las del agua, se van a unir... se van a mezclar y... no se va a notar la diferencia entre una y otra...”.

Por otra parte, en Ing4 surge una alusión disciplinar en el tratamiento del problema: “...Yo creo que está muy relacionado esto con Química... ¿no?... Y acá, bueno, entra, entra en juego la tabla periódica, me parece, cada elemento... supongo...Y los aniones y cationes de uno... o sea, los aniones de uno se juntan con los cationes del otro...bueno, algo así... creo que debe ser algo así, no sé...”.

Discretas más avanzadas (ver cuadro 6)

Las respuestas obtenidas de estos estudiantes los acercan al modelo microscópico aunque no alcanzan a dar una respuesta acabada sobre la situación planteada. Además, se pueden distinguir diferencias en cuanto a la cercanía de las respuestas obtenidas respecto del modelo aceptado por la ciencia. Los más avanzados parecen ser Q2, Q6 y Q4 (algunas de sus frases representativas se han incluido en el cuadro 6) quienes articulan elementos de los niveles macroscópico, microscópico y simbólico (Gabel, 1999; Johnstone, 1991) en la búsqueda de explicaciones del fenómeno de disolución considerado.

Las frases de Q2 (“... se forman enlaces, intermoleculares entre el agua y el azúcar... lo que se produce es una especie de... puente, me imagino... no sé si... tipo hidrógeno... una molécula de azúcar con algunas de agua... se debilitan las estructuras del metal, (corrigiéndose) del metal, del sólido...por esta propiedad que tiene el agua...”), y de Q6 (“... En sí, el azúcar no desaparece del agua... Eso está claro... Se forma una solución azucarada...” y “... Una solución es como que... por ejemplo, determinados iones se... digamos, la molécula de azúcar se separa en iones para formar parte de... o se mezcla con... con el disolvente...”) corresponderían a una articulación entre niveles microscópico y simbólico mientras que las de Q4 (“... Sería como un cristal... como que son varias moléculas juntas... muchas...”) reflejarían una asociación entre los niveles macroscópico y microscópico.

Q2: "... Bueno, obviamente se disuelve por la... a ver (en voz muy baja)... (alzando nuevamente la voz) y obviamente el azúcar tiene algún... no sé (en voz muy baja)... (alzando nuevamente la voz) se forman enlaces, intermoleculares entre el agua y el azúcar, bueno... que debilitan esta estructura... sólida que existía antes en el azúcar sola... y bueno, lo que se produce es una especie de... puente, me imagino... no sé si... tipo hidrógeno (en voz más baja)... (alzando nuevamente la voz) puentes, puentes intermoleculares... y si... sí, dependiendo de la cantidad, hasta le pondría, tal vez, una... una molécula de azúcar con algunas de agua o... depende la concentración... pero básicamente es eso: se debilitan las estructuras del metal, (corrigiéndose) del metal, del sólido... por esta propiedad que tiene el agua ¿no?... Bueno... Por ahí no es una definición exacta (de disolución) pero es lo..."

Q4: "... (piensa)... Sería como un cristal... Sí... como que son varias moléculas juntas... muchas... (¿qué vería?) ... (piensa)... Ehm... No sé... porque las moléculas no las voy a ver... (piensa)... Se me ocurre que tendrían que estar las moléculas agrupadas..."

Q4: "Y que... las moléculas que estaban formando el cristal antes, se separan... se disuelve, se disuelve en el agua... se mezclan con las otras moléculas... Del agua... No sé... que se rompen los cristales..."

Q6: "... En sí, el azúcar no desaparece del agua... Eso está claro... Se forma una solución azucarada... Una solución es como que... por ejemplo, determinados iones se... digamos, la molécula de azúcar se separa en iones para formar parte de... o se mezcla... con el disolvente... En este caso el agua, sí... el azúcar sería el solvente (se corrige) o soluto... ¿Después que el azúcar se disuelve completamente o en partes?... Y creería que se disocian algunos iones del azúcar y se...y quedan dando vuelta en el agua... Pero no forman ningún compuesto con el agua, creería, no sé, porque no, no sé qué reacciones habría de por medio... O sea, si vos me hablás de la sal... te sé decir qué se forman... La sal se disocia, en aniones sodio... en cationes sodio y en aniones cloruro... pero en ningún momento pasa... y el agua como está formada por... se disocia en oxidrilos y en protones... el cloro está dando vuelta, el cloruro de sodio... y el sodio...se puede llegar a unir con algunos oxidrilos para formar el hidróxido de sodio pero... eso, más o menos lo sé pero eso del, del azúcar no, no sé cómo se disocia o cómo se... qué relación hay después con... pero sé que hay una disociación de... de iones y... nada más..."

Cuadro 6.- Frases seleccionadas de estudiantes con representaciones discretas más avanzadas sobre la constitución de un grano de azúcar y sobre qué sucede con el azúcar en el agua.

Representaciones diversas sustitutivas con uso inconexo de algunos elementos disciplinares (ver cuadro 7)

La influencia disciplinar se percibe en las frases de Q1, F1 y Q5 como un sustituto explicativo: los términos empleados por Q1 en que mezcla una

representación macroscópica (“... Son muchos cristales unidos...” y “... se van uniendo todas cosas así, como un queso así...”) con el lenguaje propio de la Química (“...casi todo está formado, la mayor parte, por carbono y... glucosa... y la glucosa está formada por carbonos, por oxidrilos...”).

F1: “Y sí... un conjunto de átomos ligados... por fuerzas... este... sí, fuerzas entre ellos, fuerzas moleculares... atómicas... Eh... (se ríe) Todavía eso no lo tengo muy claro pero me imagino que son... atómicas... (¿qué vería?) ... Cadenas, me imagino.... No, no, no... Sí, la molécula del... azúcar... Bueno, me imagino... así, delirando porque no tengo ni idea ¿no?... Un cuadrado, tipo una... un cristal... con... que sé yo, imaginándome... con pequeños nodos, por decir de alguna manera... entrelazados entre ellos...”

F1: “... Una disociación de... debe haber fuerzas de adhesión entre el agua... entre las partículas, las moléculas del agua y las del azúcar que deben ser más fuertes que las de cohesión entre las mismas... y, de hecho, llevan a una disolución del azúcar en el agua... Una... mezcla, o sea... partículas de agua con... una mezcla de partículas por todos lados... donde habría partículas de agua, de azúcar, o sea... ingredientes químicos del azúcar mezclados con el agua.”

Q5: “...(piensa) Por unas cuantas moléculas de... sacarosa... formadas a su vez por glucosa y fructosa...(Vería)...(piensa) Y todas moléculas de sacarosa pegadas unas con otras... no sé si en la forma cristalina o qué pero... no creo... son pegadas...”

Q1: “...Son muchos cristales unidos, me parece a mí... y casi todo está formado, la mayor parte, por carbono y... glucosa, principalmente... y la glucosa está formada por carbonos, por oxidrilos y... (con microscopio) ... ¿muy, muy potente?... Como... no sé, así como todas celdas que se van... comunicando... se van uniendo todas cosas así, como un queso...”

Cuadro 7.- Frases seleccionadas de estudiantes con representaciones diversas muy influenciadas por lo disciplinar sobre la constitución de un grano de azúcar y sobre qué sucede con el azúcar en el agua.

Las frases de F1, por ejemplo (“... un conjunto de átomos ligados... por fuerzas... este... sí, fuerzas entre ellos, fuerzas moleculares... atómicas...”), sugieren cierta confusión entre los términos “átomos” y “moléculas” y también en la estructura de las sustancias donde se acude a analogías macroscópicas (“... Cadenas, me imagino.... No, no, no... Sí, la molécula del... azúcar...”). La respuesta incluye una representación macroscópica (“...así, delirando porque no tengo ni idea ¿no?... Un cuadrado, tipo una... un cristal...”) combinada con términos de uso disciplinar pero incoherentes con la situación analizada (“... imaginándome... con pequeños nodos, por decir de alguna manera... entrelazados entre ellos...”). Algo similar se puede identificar en las respuestas de Q5 referidas a la estructura del azúcar: “...Por unas cuantas moléculas de... sacarosa... formadas a su vez por glucosa y fructosa...”, donde lo simbólico propio de la Química se introduce como argumento explicativo.

La alusión de Q2, en el cuadro 6, a los puentes hidrógeno y a los enlaces moleculares también pueden asociarse a lo disciplinar aunque, en este caso, su utilización resulta más complementaria que sustitutiva. Esta situación también puede observarse en las respuestas sobre el proceso de disolución del azúcar para F1 en el cuadro 7: "... Una disociación de las... debe haber fuerzas de adhesión entre el agua... entre las partículas, las moléculas del agua y las del azúcar que deben ser más fuertes que las de cohesión entre las mismas... y, de hecho, llevan a una disolución del azúcar en el agua...".

Algo diferente surge, y merece comentarse, de la respuesta sobre disolución del azúcar de Q6 en el cuadro 6: "... La sal se disocia, en aniones sodio... (se corrige) en cationes sodio y en aniones cloruro... pero en ningún momento pasa... y el agua como está formada por... se disocia en oxidrilos y en protones... eh... el cloro está dando vuelta, el cloruro de sodio... y el sodio... eh... se puede llegar a, a unir con algunos oxidrilos para formar el hidróxido de sodio pero... eso, más o menos lo sé pero eso del, del azúcar no, no sé cómo se disocia o cómo se... qué relación hay después con... pero sé que hay una disociación de... de iones y... nada más...". Al no disponer de un modelo para la disolución del azúcar, Q6 acude como analogía al de la sal pero mostrando no tener clara la diferencia entre disolución y disociación iónica. Necesita imaginar a la sal (de manera similar al azúcar) como un sólido cuyos componentes (considerados como iones) se separan al tomar contacto con el agua. También se imagina al agua como disociada interviniendo, entonces, en un proceso de interacción química. Esto revela que Q6 no tiene claro el carácter de las interacciones en una disolución, ni la energía asociada a ellas, como tampoco la diferencia entre la disolución de un sólido iónico y uno molecular. Es decir, no le ha quedado clara la idea de que la disolución implica un proceso físico en el cual la energía involucrada es distinta de la asociada con una reacción química. Esto sugiere que, en la presentación de estos temas en el aula, no se han explicitado las limitaciones de los modelos utilizados.

Conclusiones

En las frases de alumnos de enseñanza media inicial se identifica (a través de las respuestas de S y A) una diversidad de representaciones, desde modelos descriptivos estrictamente continuos y macroscópicos hasta aquellos coherentes con la teoría de partículas. Esta heterogeneidad no se ve modificada en las respuestas posteriores de los mismos estudiantes como se aprecia en las respuestas de S2 y A2 volcadas en el cuadro 3.

Al comparar lo respondido por estudiantes de escuela media con los de universidad, no aparecen representaciones muy diferentes: se refleja la misma diversidad de modelos. En el caso de estudiantes de la UNLP que han tomado cursos de Química previos a las entrevistas (como los de Química, Ingeniería y Ciencias Naturales en los cuadros 4 a 7), se mantienen aún modelos continuos macroscópicos o discretos con características macroscópicas junto con respuestas coherentes con el modelo discreto microscópico.

En otros entrevistados que no han asistido a cursos previos de Química, como por ejemplo aquellos que estudian Física, se evidencia la influencia disciplinar mediante términos (como fuerzas de adhesión y cohesión o

nodos) que resultan incoherentes con el modelo microscópico (como se ve en las respuestas de F1 incluidas en el cuadro 6). En los estudiantes de Informática, en cambio, se preservan las representaciones continuas macroscópicas (como en las respuestas del estudiante If4 expuestas en el cuadro 4) o discretas con características macroscópicas (tal como las del estudiante If1 incluidas en el cuadro 5) de manera análoga a lo registrado en estudiantes que inician su enseñanza media, tal como surge de la comparación de sus respuestas con las de S y A en el cuadro 1.

A partir de lo analizado, es posible situar en la figura 1 a cada uno de los entrevistados de acuerdo a sus ideas y obtener la figura 2. En ella S, Ing5, If4 y N5 se han ubicado en el área de las representaciones continuas de la materia e indicado mediante la línea punteada W sus dificultades, quizás de carácter ontológico (Pozo y Gómez Crespo, 1998), para acceder a una representación discreta. N1, N3, If1, Ing4 y A se han situado, en cambio, en la zona de representaciones discretas con características macroscópicas en tanto F1, Q1, Q2, Q4, Q5 y Q6 han sido colocados en la vecindad de las representaciones discretas compatibles con modelos microscópicos.

De lo que surge de las entrevistas realizadas, S (mostrado como S2 en la figura 2), Ing5, If4, N5, N1, N3, If1 e Ing4 parecen seguir el camino hacia la articulación con leyes fenomenológicas desde diversos modelos (macroscópicos y/o discretos pero de características macroscópicas para los componentes). Las dificultades para alcanzar representaciones discretas microscópicas, señaladas mediante la línea punteada W2, les permitirían llegar sólo a un marco descriptivo del fenómeno. En este grupo, la evolución posible hacia un marco explicativo pareciera depender del trabajo en la Zona de Desarrollo Próximo (ZDP) una vez identificado el tipo de representaciones presente.

Por otro lado, A (indicado por A2 en la figura 2), F1, Q1, Q2, Q4, Q5 y Q6 se aproximan a la posibilidad de un marco explicativo, desde una representación inicial discreta y microscópica (o cercana a ella). Sólo en el caso de A2 se refleja el alcance de un marco explicativo casi completo.

Se desprende que, entre la mitad de la escuela media y el final del primer año universitario, no se han producido grandes modificaciones respecto de la diversidad de representaciones aunque, en los casos en los que los estudiantes han cursado algo de Química y manifiestan una representación discreta (con características macroscópicas o discreta microscópica) se ha incorporado alguna terminología científica.

Cabe preguntarse si la evolución diferente seguida por S y A (mostrada en la figura 2 a través de las ubicaciones de S2 y A2) resulta extensible a los estudiantes universitarios entrevistados. ¿Fueron dificultades de tipo ontológico las que definieron las representaciones de Ing5, If4, N5, N1, N3, If1 e Ing4 en cuanto a no alcanzar un modelo discreto microscópico? ¿O quizás no tuvieron la posibilidad de un trabajo de aula adecuado a su ZDP? ¿En qué medida han influido lo perceptivo y el trabajo de aula en la construcción de representaciones en cada estudiante?

De acuerdo a Johnstone (2000) la percepción, que está controlada por los conocimientos previos y creencias, funcionaría como un filtro que hace que se ponga especial atención sobre algunos estímulos y se ignoren otros.

Desde este punto de vista, la percepción se concibe como personal y estrechamente articulada con el conocimiento previo, articulación que se establecería a partir de una analogía entre la interpretación y simbolización de la experiencia previa y el estímulo nuevo.

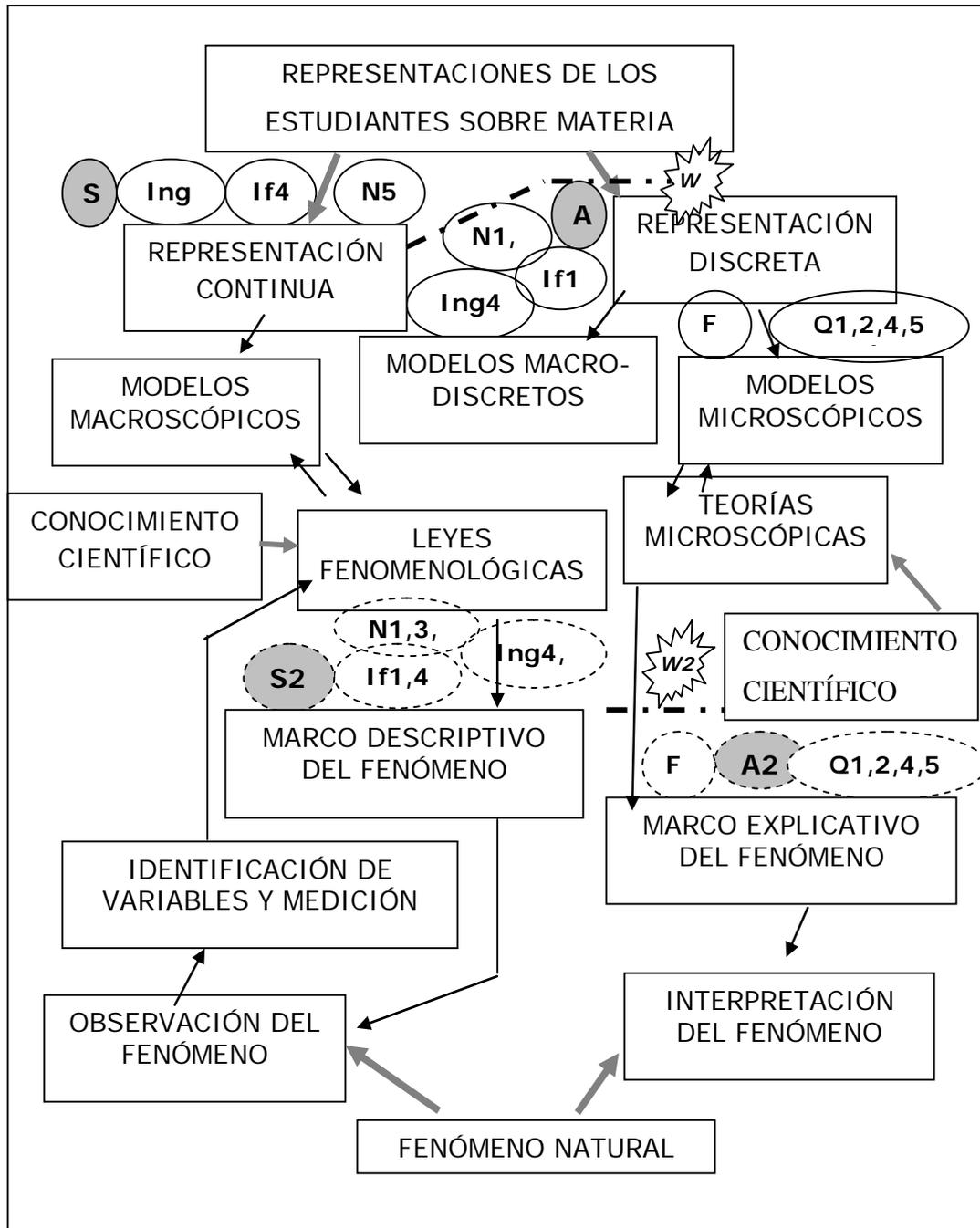


Figura 2.- Ubicación de los estudiantes en el esquema de acuerdo a sus respuestas.

Por otra parte, Pozo y Gómez Crespo (1998) proponen que, en la evolución de la articulación entre ideas previas y percepción, se parte de una primera fase denominada "realismo ingenuo" caracterizada por una

visión del mundo físico centrada en la percepción que de él se tiene y donde sólo se acepta la existencia de aquello que se puede observar directamente. Una situación intermedia (o "realismo interpretativo"), puede surgir a partir de asumir como realidades de la materia la existencia de objetos que no se pueden ver. Esto último deriva en aceptar representaciones microscópicas que no necesariamente se corresponden con las aceptadas por la comunidad científica (por ejemplo, las representaciones discretas y con características macroscópicas reflejadas en las respuestas de N1, N3, If1, Ing4 y A).

El cambio desde las representaciones macroscópicas hacia las representaciones microscópicas en la estructura de la materia, se encontraría ligado a un proceso que se ha indicado en distintos estudios longitudinales (Johnson, 1998; Benarroch, 2001). Sin embargo, este proceso no parece independiente del rol del trabajo de aula (instrucción, discusión entre pares), sobre la ZDP (Tudge, 1994) de los diferentes grupos de estudiantes con representaciones comunes además de la discusión de los contextos de uso de diferentes modelizaciones de la realidad. Es este contexto de uso, al intentar resolver situaciones que aparecen como problema, el que aportaría criterios para jerarquizar las diferentes modelizaciones posibles y decidirse por las mejores, siempre en el marco del problema planteado.

En ese sentido, cabe recordar que una representación continua y macroscópica implica una abstracción tan importante como la del modelo atómico: el modelo de terrón de azúcar que imaginó el grupo identificado como S, incluyendo las tres fases y en el que gas y sólido se comportan como lo harían en lo cotidiano para el estudiante mientras que el líquido (azúcar líquida) se mezcla con el líquido (agua), implica conjugar propiedades con fases y generar un modelo que los contiene. Esta modelización, que puede no ser la más adecuada en la explicación de la disolución del azúcar en agua, sí podría serlo para otros problemas. Sería importante aprovechar esta capacidad en el aula de ciencias a través de la explicitación de las herramientas metodológicas necesarias para abordar la resolución de problemas (identificación del objeto de estudio, de las fronteras que lo separan del entorno, de los modelos que pueden representarlo, de las interacciones entre objeto de estudio y entorno, etc.) y discutir las limitaciones de cada modelo posible en la resolución de una misma situación problemática.

Queda la tarea de extender este análisis a un número mayor de estudiantes de diferentes niveles del sistema educativo. No obstante, dada la situación descrita, se sugieren algunas propuestas que ayudarían, creemos, a prevenir algunas de las dificultades mencionadas respecto de la articulación con nuevas teorías explicativas:

(a) Propiciar, en todos los niveles del sistema educativo y especialmente desde los inicios de la escuela media, instancias de discusión sobre la utilización de diferentes modelos, como herramientas metodológicas, en la interpretación de fenómenos naturales.

(b) Considerar las ideas previas como un punto de partida que posibilite la decisión consciente del marco a utilizar en la interpretación de fenómenos

y no como un obstáculo que impida a los estudiantes la adquisición del saber científico.

(c) Generar contextos de trabajo diferenciado para cada grupo de estudiantes con representaciones comunes, a partir del reconocimiento de la diversidad de representaciones existentes en el aula y con el objetivo de acercarlos a la incorporación consciente de los modelos propuestos por la ciencia.

Referencias bibliográficas

Benarroch, A. (2001). Una interpretación del desarrollo cognoscitivo de los alumnos en el área de la naturaleza corpuscular de la materia. *Enseñanza de las Ciencias*, 19, 1, 235-246.

Chalmers, A. (1991). *¿Qué es esa cosa llamada ciencia?* Madrid: Siglo Veintiuno Editores.

Ebenezer, J. y D. Fraser (2001). First year chemical engineering students' conceptions of energy in solution processes: phenomenographic categories for common knowledge construction. *Science Education*, 85, 5, 509-535.

Eilam, B. (2004). Drops of water and of soap solution: students' constraining mental models of the structure of matter. *Journal of Research in Science Teaching*, 41, 970-993.

Espíndola, C. y O. Cappannini (2005). La discusión coordinada: una herramienta de evaluación formativa. *Enseñanza de las Ciencias*, número extra del VII Congreso Internacional sobre Investigación en la Didáctica de las Ciencias. Acceso electrónico en http://ensciencias.uab.es/webblues/www/congres2005/htm/index_art_hm/2-2.htm (consultado el 30/07/2009).

Espíndola, C. y O. Cappannini (2006). ¿Cómo usan alumnos de EGB los modelos de estado de agregación de la materia en la interpretación de un fenómeno de mezcla? *Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias*, 5, 3, 416-429. En: <http://saum.uvigo.es/reec>.

Flores Camacho, F.; Gallegos, L.; Garritz, A. y A. García Franco (2007). Incommensurability and multiple models: Representations of the structure of matter in undergraduate chemistry students. *Science & Education*, 16, 775-800.

Gabel, D. (1999). Improving teaching and learning through Chemistry education research: a look to the future. *Journal of Chemical Education*, 76, 548-554.

Garnett, P.J.; Garnett, P.J. y M.W. Hackling (1995). Students' alternative conceptions in chemistry: a review of research and implications for teaching and learning. *Studies in Science Education*, 25, 69-95.

Giordan, A.; Girault, Y. y R. Clement (1994). *Conceptions et connaissances*. Berna: Peter Lang.

Gutiérrez Julián, M.; Gómez Crespo, M. y J.I. Pozo (2002). Conocimiento cotidiano frente a conocimiento científico en la interpretación de las propiedades de la materia. *Investigações em Ensino de Ciências*, 7, 3, 191-203. En: <http://www.if.ufrgs.br/public/ensino/revista.htm>.

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

Johnstone, A. (2000). Teaching of Chemistry-Logical or psychological? *Chemistry Education: Research and Practice In Europe*, 1, 9-15.

Johnson, P. (1998). Progression in children's understanding of a 'basic' particle theory: a longitudinal study. *International Journal of Science Education*, 20, 4, 393-412.

Krnel, D.; Watson, R. y S. Glazar (1998). Survey of research related to the development of the concept of "matter". *International Journal of Science Education*, 20, 3, 257-289.

Krnel, D.; Watson, R. y S. Glazar (2005). The development of the concept of 'matter': a cross-age study of how children describe materials. *International Journal of Science Education*, 27, 3, 367-383.

Leander, K. y D. Brown (1999). 'You understand it, but you don't believe it': Tracing the stabilities and instabilities of interactions in a Physics classroom through a multidimensional framework. *Cognition and Instruction*, 17, 1, 93-135.

Lemke, J.L. (1990). *Talking Science. Language, Learning and Values*. Norwood, New Jersey: Ablex Publishing Corp.

Lombardi, O. (1998). La noción de modelo en ciencias. *Educación en Ciencias*, II, 4, 5-13.

Marton, F. (1981). Phenomenography-describing conceptions of the world around us. *Instructional Science*, 10, 177-200.

Mortimer, E.F. (1995). Conceptual change or conceptual profile change? *Science & Education*, 4, 267-285.

Mortimer, E.F. (1998). Multivoicedness and univocality in classroom discourse: an example from theory or matter *International Journal of Science Education*, 20, 1, 67-82.

Mortimer, E. F. y P. Scott (2002). Atividade discursiva nas salas de aula de ciências: uma ferramenta sociocultural para analisar e planejar o ensino. *Investigações em Ensino de Ciências*, 7, 3, 283-306. En: <http://www.if.ufrgs.br/public/ensino/revista.htm>.

Pozo, J.L. y M.A. Gómez Crespo (1998). *Aprender y Enseñar Ciencia*. Madrid: Morata.

Sanmartí, N. y G. Alimenti (2004). La evaluación refleja el modelo didáctico: análisis de actividades de evaluación planteadas en clases de Química. *Educación Química*, 15, 2, 120-128.

Tudge, J. (1994). Vygotsky, la zona de desarrollo próximo y la colaboración entre pares: connotaciones para la práctica del aula. En L.C. Moll (Ed.), *Vygotsky y la Educación* (pp. 187-207). Buenos Aires: Aiqué.