

Las estrategias argumentativas en la enseñanza y el aprendizaje de la química

María Eugenia De la Chaussée Acuña¹

ABSTRACT (Argumentative strategies for teaching and learning chemistry)

Any human being has formulated questions for his desire and necessity to know about the natural, social and human reality. In order to investigate in any science, scientists use two methods: an internal one for perceiving the reality, thinking, analyzing, reflecting, arguing and judging, and the other for researching. Both methods are learned by students in interactions with teachers.

The internal method consists on the mental operations that we put into motion in all cognitive processes. In the empirical level we have sensations, perceive, memorize, repeat, remember and imagine. In the intellectual level we inquire, relate, analyze, come to understand, express what we have understood, conceive and formulate. In the rational, we reflect, look for and order the evidences, criticize, argue and make judgments on the truth or falsity, certainty or probability, of a statement. All the operations on these three levels are intentional and conscious.

To argue is one of the mental operations of the third level. It consists in looking for and presenting data and proofs, to demonstrate and to make something credible (knowledge, problems, results, facts, phenomena, ...).

In the present article there are some argumentative strategies in chemistry college courses used in the teaching and learning processes of different concepts. In order to facilitate this purpose, a qualitative research (sociolinguistic) was made (Cazden, 1989). The research is based on the cognitive theory of Lonergeran (1999).

I understand as argumentative strategies the set of mental operations (actions) that unfold in the teaching-learning processes to achieve the students' understanding and learning. Some of these strategies are to use examples, prosopopeias, analogies, comparisons, descriptions or repetitions.

KEYWORDS: Argumentation in chemistry classes, internal processes to learn chemical concepts

Introducción

Cualquier ser humano, se formula preguntas por su deseo y necesidad de saber sobre la realidad natural, social y humana.

Los científicos se preguntan e indagan aquellas preguntas a las que pueden buscar y encontrar respuestas o descubrir datos relevantes. Para realizar investigación en cualquier ciencia, los científicos recurren a dos métodos, un método interior para percibir la realidad, pensar, analizar, reflexionar, argumentar y juzgar, y otro para investigar. Todos los científicos, incluyendo los científicos sociales, emplean los dos métodos, tanto el método interior como variantes del "método científico" (Chang, 2002), pues requieren de métodos sistemáticos para generar conocimiento. Los científicos no podrían realizar ningún tipo de investigación (experimental, cuantitativa, cualitativa...) si no observan, se preguntan, entienden, analizan, comparan, razonan, argumentan, juzgan y deciden.

En las ciencias naturales el método científico experimental permite ir generando nuevos conocimientos. La observación, la detección y planteamiento del problema, la revisión de lo que otros han investigado, la formulación de hipótesis, el diseño del experimento para recoger datos, la realización y reproducción del mismo, la verificación o rechazo de las hipótesis, la formulación de leyes generales y la explicación e interpretación de estas leyes, la predicción de fenómenos naturales y la formulación de teorías estimulan la búsqueda de nuevos descubrimientos. Las leyes resumen los hechos de la naturaleza y casi nunca cambian. No obstante, las teorías, aunque explican y agrupan hechos, experimentos y las leyes basadas en ellos, son inventadas por la mente humana, pueden cambiar, y lo hacen a medida que se descubren nuevos hechos o explicaciones. De las hipótesis se deducen sus efectos e implicaciones, y éstas sugieren experimentos que hay que realizar. El proceso de experimentación aporta nuevos datos, nuevas observaciones, nuevas descripciones que pueden o no confirmar la hipótesis que se está verificando. En la medida en que no la confirman, conducen a modificaciones de la hipótesis y el investigador tiene que dar razones de por qué no se confirmó y elaborar nuevas hipótesis. Los datos no dejan de ampliarse,

¹ Universidad Iberoamericana Puebla.

Correo electrónico: eugenia.delachaussee@iberopuebla.edu.mx

nuevos descubrimientos se agregan a los anteriores. Nuevas hipótesis y teorías expresan no solamente nuevas intelecciones, sino también lo válido de las previas. Tal es, de manera muy sintética, el método de las ciencias naturales.

Ambos métodos van siendo significados y aprendidos por los alumnos en la interacción con los profesores.

El método interior son la serie de pasos o serie de procedimientos de la mente humana que realizamos en todos los procesos cognoscitivos.

El método interior consta de una serie de operaciones mentales en diferentes niveles de consciencia e intencionalidad (Lonergan, 1999). En el nivel empírico tenemos sensaciones, percibimos, memorizamos, repetimos, recordamos e imaginamos. En el nivel intelectual preguntamos, relacionamos, analizamos, entendemos, expresamos lo entendido, concebimos y formulamos. En el racional, reflexionamos, buscamos y ordenamos nuestras evidencias, criticamos, argumentamos y hacemos juicios sobre la verdad o falsedad de las afirmaciones o sobre su certeza o probabilidad. Un alumno aprende significativamente cuando logra transitar hasta el tercer nivel, es decir, cuando llega a emitir, por sí mismo, juicios fácticos.

Argumentar es una de las operaciones mentales del tercer nivel del método interior. Es una operación mental interna que puede o no ser manifestada exteriormente. Consiste en buscar y presentar datos y pruebas para fundamentar, demostrar y hacer creíble algo (conocimientos, problemas, resultados, hechos, fenómenos, contradicciones...). Los usos de la argumentación son diversos. Argumentamos para demostrar o debatir ofreciendo evidencias y razonamientos lo más completos y estructurados posibles para mostrar o convencer de algo.

Un argumento sencillo expresado verbalmente es el siguiente:

Alumna A: Hoy el volcán lanzó una gran fumarola.

Alumno B: ¿Por qué lo dices?

Alumna A: Por la cantidad de ceniza sobre los coches, árboles, azoteas, patios y gran parte de la ciudad. Tú puedes verla. Ésta es una evidencia de su actividad volcánica.

En el argumento anterior hay una base empírica sobre la que se apoya la afirmación pues se cuentan con pruebas (la cantidad de ceniza sobre las cosas) para justificar y demostrar lo que se está afirmando.

Un argumento es cualquier dato, prueba, experimento, evidencia, razonamiento, ... para probar o demostrar algo. Cuando se ataca o contradice (refuta) determinado argumento, se está sosteniendo ya sea que el argumento es deficiente pues las pruebas no concuerdan con la conclusión o que las pruebas son inadecuadas, insuficientes o falsas. Un ejemplo sería elaborar un argumento que inicie presentando datos sobre los efectos nocivos y negativos de la contaminación industrial, para luego terminar condenando el uso de toda la tecnología, por considerarla perjudicial para la vida en este planeta. La falta de veracidad de las implicaciones de este argumento quedaría en evidencia no sólo al recordar y reconocer que

buena parte de la medicina actual, que preserva la vida y sirve a ella, es resultado de los avances científicos y tecnológicos, sino también al presentar estadísticas sobre el promedio de vida al nacer o los índices de mortalidad y morbilidad de los adultos y personas de la tercera edad.

Como dice Cros (2003), la argumentación es una actividad racional del sujeto en la que el argumentador ofrece razonamientos ya sea a sí mismo o a otras personas.

Para algunos autores como Calderón y León (1996) argumentar es una actividad externa, es hacer uso del lenguaje verbal para formar un discurso que dé cuenta de nuestras convicciones acerca de un asunto. Sin embargo, pierden de vista que lo que hablamos y escribimos son expresiones de nuestro pensamiento y juicio. Este discurso al que hacen referencia tiene como función fundamental convencer o persuadir, en forma razonada, a otro(s); su objetivo primordial es lograr la adhesión del otro, exige, entonces, realizar, a partir de la premisa que se tiene por cierta, construcciones que expliquen, justifiquen, relacionen y concluyan convincentemente la(s) tesis supuesta(s). En una situación argumentativa "cobra gran importancia la existencia de interlocutores a quien adherir nuestras posturas personales frente a ciertas situaciones" (p. 12). Los interlocutores habrán de establecer comunicación con un miembro que no esté convencido (profesor, contraargumentador, alumno, etcétera).

Históricamente, en el desarrollo del ser humano y de las ciencias, el método interior y particularmente la argumentación han sido fundamentales. Mediante la argumentación se convence a los científicos que una teoría es mejor o más explicativa o completa que otra o que una teoría dejó de considerar algunas evidencias o datos, o que presenta tales o cuales contradicciones. Los argumentos en los distintos campos de conocimiento se diferencian entre sí no sólo en cuanto a su estructura sino en cuanto a su contenido e intencionalidad. Por ejemplo, en las ciencias naturales los principios de inferencia intentan captar la estructura, dinámica y lógica de la naturaleza, mientras que en las ciencias sociales el comportamiento y la intención de los grupos sociales en diferentes ámbitos. La argumentación también difiere según lo que esté en juego: en la ciencia, el destino de una hipótesis, una teoría o una aplicación tecnológica, y por ejemplo, en la aplicación del derecho, el destino de un grupo humano que puede estar sufriendo de injusticias. Por lo tanto, las maneras de argumentar difieren.

Se argumenta en distintos ámbitos: en el escolar, familiar, laboral, en la economía, en la política, en la publicidad, en la administración de la justicia, en las diferentes ciencias, ... Ningún ámbito en el que participe el ser humano escapa a esta posibilidad de argumentar pues es una de las operaciones mentales que ha desarrollado. Utilizada al comunicarse es básica para evidenciar, plantear y resolver problemas y conflictos, defender una postura, llegar a acuerdos, propiciar el consenso, convencer, debatir. Permite la emisión de juicios por parte del proponente y el reconocimiento de la postura del otro.

En la enseñanza y el aprendizaje de la química la argumentación normalmente la emplean los profesores y los alumnos para exponer y explicar conocimientos, para contrastar teorías o para lograr que se entienda algo que es de difícil comprensión. Además, el profesor necesita argumentar para convencer a los alumnos y demostrarles que las explicaciones y experimentos físicos y químicos son ciertos, comprobables y repetibles, y además, utiliza diversas estrategias argumentativas como recurso para que ellos a su vez puedan entender conocimientos, formar diversos conceptos, formular explicaciones y aprender los dos métodos (el interior y el método científico experimental).

Garriz y Chamizo (1994) aunque no hablan de la existencia de ambos métodos, de alguna manera los reconocen implícitamente al plantear que la actitud científica es una "actitud que debemos adoptar en nuestro viaje por la vida, con el uso sistemático de nuestra capacidad racional y mediante la observación cuidadosa, la suposición de resultados y su verificación" (p. 13).

En el presente artículo se muestran algunas estrategias argumentativas usadas en los procesos de enseñanza y aprendizaje de diferentes conceptos.

Para alcanzar el propósito del presente trabajo se realizó una investigación cualitativa interpretativa, sociolingüística (Cazden, 1989) sobre algunos usos que hacen de la argumentación tanto profesores como alumnos universitarios. La investigación se fundamenta en la teoría cognitiva de Loneragan (1999).

Por estrategias argumentativas entiendo el conjunto de operaciones (acciones) mentales que se despliegan en los procesos de enseñanza-aprendizaje para lograr que los alumnos aprendan, es decir, son formas de trabajar mentalmente y en la interacción. Algunas de esas estrategias son usar ejemplos, prosopopeyas, analogías, refranes, metáforas, citas, explicaciones, descripciones, explicaciones causales, inferencias, deducciones, comparaciones, repeticiones. Son estrategias porque se ponen en juego para alcanzar un propósito. Cada estrategia utilizada da cuenta de estados de desarrollo cognitivo diferentes.

Se entiende que la analogía es la relación abstracta entre significados diferentes que tienen ciertas semejanzas. Por ejemplo, un perro y un gato son perceptiblemente diferentes y una analogía entre ellos es que son mamíferos. La plata es un sólido y el ácido acético un líquido y su analogía es que son materiales.

Existen dos significados del término analogía. Para algunos autores, una analogía es una semejanza o paralelismo entre dos cosas distintas (Barker, 1991, y Guétmanova, 1989), pero también se llama analogía no a la mera comparación o al paralelismo existente entre dos objetos, sino a un tipo de razonamiento (Guétmanova, 1989).

En el razonamiento analógico, cierta relación se traslada de un significado a otro, para pasar después a otro nivel de generalización.

Es posible entendernos mediante la argumentación analó-

gica, "ya que a partir de ella se pueden explicar cosas incomprendibles, pasando de lo más conocido a lo menos conocido a través de ciertas semejanzas" (Copi, 1984, p. 399).

Como dicen Correa, Dimaté y Martínez (1999) el sujeto que argumenta un saber específico ha debido recurrir a estrategias para construir su estructura argumentativa y de esa manera "poner en juego" su saber en diferentes contextos.

Perspectiva teórico-metodológica

Entender y aprender directamente nuevos conocimientos (conceptos, teorías, métodos, procedimientos, técnicas,...) que nunca se han escuchado o trabajado es imposible y estéril. No se puede aprender algo a lo que no se le ha dado significado y no se ha entendido. Un profesor que intente que sus alumnos lo hagan generalmente no logra nada más que la memorización, una repetición de palabras y un verbalismo hueco por parte de los alumnos que simulan un conocimiento, pero que en realidad sólo encubren una ausencia.

El ser humano es un ser capaz de dar significados. El alumno aprende los significados que tienen los diferentes fenómenos en los contextos en el que los aprende, siendo millones los significados que el alumno debe dar. Por ejemplo, tan sólo para significar lo que es "X" tiene que darse cuenta que "X" tiene diversos significados en diferentes contextos. En español, "X" es una de las consonantes del alfabeto castellano, en biología "X" es uno de los cromosomas sexuales, en matemáticas significa tanto el número romano que equivale a 10 (diez) como una multiplicación o una incógnita en una ecuación algebraica o una variable, y "X" en una respuesta a una pregunta de un examen significa que la respuesta es incorrecta. En química, "I" es el símbolo del "yodo", en matemáticas el número romano que equivale a 1 (uno) y en inglés significa "yo".

La química como todas las demás ciencias está llena de significados, de conceptos abstractos y complejos y de teorías y métodos, por lo que su enseñanza y su aprendizaje no es fácil ni sencillo. El alumno tiene que dar significados y aprender infinidad de cosas como los símbolos de los elementos, las maneras de representar los compuestos y las reacciones químicas, el vocabulario especializado, el lenguaje para expresar los fenómenos y la manera de expresarlos, etc. ¿Qué sucede en el interior del alumno cuando escucha los conceptos químicos que se le enseñan?, ¿qué entiende el alumno de lo que dicen los profesores sobre los conceptos y teorías?, ¿entiende realmente lo que escucha?, ¿qué tanto entiende?, ¿basta para el alumno con escuchar un concepto una vez para entenderlo y aprenderlo?, ¿los conceptos son aprendidos como tales?, ¿qué tiene que hacer interiormente el alumno para dar significados y aprender los conceptos?, ¿cuántos conceptos ha construido el alumno?, ¿cómo llega a conceptualizar algo?

Se da por supuesto que los alumnos van a clases a aprender, se les pide que aprendan pero no se les explica qué es aprender ni cómo aprender, de manera que los alumnos llegan a cursos de nivel superior habiendo memorizado muchas definiciones de conceptos sin haberlos entendido y aprendido realmente.

Un error muy común que cometemos los profesores es suponer que en el salón de clases todos los alumnos van siguiendo y entendiendo las explicaciones que les damos por el simple hecho de que estén sentados en el aula o en el laboratorio observándonos y siguiéndonos aparentemente con la mirada. Por otro lado, normalmente en los grupos, muchos alumnos no participan, se mantienen callados y nunca hablan. Perdemos de vista que no tenemos acceso directo a la mente y los pensamientos de los alumnos, no podemos ver en qué están pensando, qué llevan en su mente, ni los conocimientos que han podido construir, ni tampoco lo que no han entendido ni lo que no han aprendido. La única manera de saber qué van entendiendo o aprendiendo o en qué están pensando es preguntarles o pedirles que nos expliquen o que hagan algo.

Para Sternberg y Spear-Swerling (1996) hay un tipo de enseñanza que es la que predomina en la mayor parte de las aulas. Este tipo de enseñanza solicita a los alumnos cosas como: a) ¿Quién dijo...?, b) Resuman..., c) ¿Quién hizo...?, d) ¿Cuándo...?, e) ¿Qué hizo...?, f) ¿Cómo...?, g) Repitan..., y h) Describan.... Esta forma de enseñar estimula aquello que los alumnos ya saben. Plantean que “evidentemente, no hay nada malo en este tipo de estímulo, los alumnos necesitan adquirir una base de conocimientos, pero en la medida en que estemos interesados en desarrollar las capacidades de razonamiento de los alumnos, debemos tener presente que, en último término, lo que verdaderamente importa no es lo que sabemos, sino que podamos usar de la mejor manera posible lo que ya sabemos, sea de forma analítica, creativa o práctica” (p. 68). Dicen que los alumnos “deben tener la oportunidad de aprender por medio del razonamiento analítico, creativo y práctico, así como por medio de la memoria” (p. 68).

Tishman, Perkins, y Jay (1994) por su parte señalan que escuchan en algunas aulas a profesores y alumnos usar muchas palabras intelectualmente evocativas, como razones, conclusión, evidencia y opinión. Pero en otras, el lenguaje de pensamiento es más escaso, y profesores y alumnos tienden a usar palabras más generales como pensar, suponer y sentir.

Como se mencionó anteriormente, esta investigación se fundamenta en la teoría cognitiva de Lonergan (1999). Todos los seres humanos usamos una serie de operaciones mentales internas (no observables) para procesar la realidad. Una operación mental es una acción mental que realiza el alumno, el profesor o cualquier persona. Algunas de estas operaciones son: ver, oír, sentir, oler, gustar, preguntar, recordar, imaginar, memorizar, repetir, analizar, comparar, entender, explicar, concebir, formular, hablar, escribir, hipotetizar, conceptualizar, calcular, recoger evidencias, razonar, reflexionar, ordenar y ponderar las evidencias, argumentar, juzgar, deliberar, evaluar, decidir... Cuando el sujeto utiliza conscientemente, recurrentemente y con destreza una operación mental ésta se convierte en habilidad mental. A través de los datos de los sentidos podemos llegar a la intelección y de la intelección a la reflexión y al juicio. Las operaciones mentales tienen distinto grado de complejidad.

Vygotsky (1995) entre las operaciones intelectuales tam-

bién incluye las comparaciones, los juicios y las conclusiones.

Para Lonergan, el desarrollo intelectual es una construcción del propio sujeto que va logrando a partir de sus propias intelecciones, razonamientos, argumentos y juicios. ¿Cómo llega el sujeto a argumentar y formular juicios fácticos? Lonergan (1999) plantea que cada sujeto puede llegar a ellos siguiendo un método cognitivo interior. Un primer nivel del método consiste en que el alumno atiende los datos de los sentidos y de la consciencia. Después, la relación entre datos, la formulación de hipótesis y la indagación le hará posible el entendimiento de los datos. En tercer lugar, mediante la recolección de evidencias (a favor y en contra), la comprobación, el sopeso de pruebas, la reflexión crítica, la argumentación y el juicio fáctico, se reconoce lo que es realmente así, y lo que es independiente de nosotros y de nuestro pensamiento. Cognitivamente implica recoger datos y conocer el objeto, la situación, el problema o el fenómeno objetivamente, y a fondo para poder entenderlo, analizarlo y juzgarlo fácticamente en toda su extensión y complejidad.

Todo pensamiento (acto de entender) trata de unir algo con algo, de establecer una relación entre diversos datos o aspectos relacionables. Entender es relacionar, es conectar conocimientos, ideas, hechos, ... Entender información es relacionarla con la información que ya tenemos. Cuantas más relaciones establezcamos entre unos datos informativos nuevos y esos conocimientos, más entendemos. El sujeto en este nivel se centra en intentar responder las siguientes preguntas: ¿qué?, ¿cómo?, ¿cuándo?, ¿por qué?, ¿cuáles?, ¿para qué?, ¿cuáles son las causas y los efectos?, ¿cómo se relaciona esto con...?

Conceptualizar no es memorizar, repetir o representarse algo en la mente. No es ver un objeto o evento, cerrar los ojos, recordarlo y tratar de representarlo en la mente. Un concepto formulado en una o más palabras representa un acto de generalización. Un concepto es más que la suma de experiencias concretas o de determinados enlaces asociativos formados por la memoria, más que un simple hábito mental; es un acto del pensamiento abstracto que no puede ser enseñado o transmitido por el profesor, sino que es algo que el propio alumno tiene que hacer por sí mismo, en su interior, mediante el uso de sus operaciones mentales. El desarrollo de los conceptos presupone el manejo de muchas operaciones intelectuales, la percepción, la atención, la memoria, el recuerdo, la imaginación, el análisis, la habilidad para comparar y diferenciar, la abstracción, entre otras. Veamos un ejemplo sencillo. Reflexionemos lo que implica para un alumno formar en la mente el concepto “silla”. Recordemos que el concepto “silla” no es la representación mental de una silla concreta. Para construir en la mente el concepto, el alumno tuvo que haber visto y tocado muchas sillas (en su casa, en los salones de clase, en la biblioteca, en la dirección de la escuela, en la casa de los familiares y amigos, en las mueblerías,...). Además debió pensar en ellas, compararlas, diferenciarlas, representarlas en su mente, recordarlas, imaginarlas, idear otras y preguntarse

qué es común, característico y esencial en todas ellas. El concepto de "hombre" prescinde de las características de Ricardo, Gerardo, Adolfo, Francisco, etc. Todo concepto es abstracto. Un concepto es un contenido mental en el que captamos algo. En cuanto está en la mente es lo entendido por la mente. Así, hablamos del concepto de materia, energía, tiempo, etc. El concepto pertenece a la mente, no a las cosas. Hay flores reales (rosas, margaritas, claveles, crisantemos, geranios...), pero el concepto "flor" está en la mente del que entiende la naturaleza de la flor (órgano reproductor del vegetal). Mediante los conceptos pensamos la realidad, la aprehendemos intelectualmente, nos posesionamos de ella intelectualmente.

Vygotsky (1995) encontró que muchos niños y adultos sólo forman pseudoconceptos pues agrupan objetos o usan palabras sin conocer el núcleo esencial que definiría el concepto, pues sólo se guían por similitudes concretas y visibles.

Lamentablemente en las aulas la mayoría de los alumnos sólo forman pseudoconceptos. Si les pedimos a un grupo de alumnos que piensen en el concepto "silla" y les solicitamos nos lo describan y expliquen, seguramente encontraremos que pensaron en una silla concreta (ya sea una que les gusta, una que recuerdan, una que vieron y que les gustaría tener, una que tienen enfrente, etc.) pero no en el concepto "silla". Imaginemos entonces qué sucede en la mente de un grupo de alumnos cuando tratamos un tema con un conjunto de conceptos y explicaciones. Tan sólo cuando un alumno relata un suceso como un incendio que presencié, difícilmente podríamos afirmar que todos los alumnos piensan y reconstruyen en su mente el mismo evento a pesar de estar escuchando exactamente lo mismo.

Argumentar, como ya se había mencionado, es una de las operaciones mentales del tercer nivel del método interior. Es presentar datos y pruebas para fundamentar, demostrar y hacer creíble algo. Para ello se aportan evidencias, pruebas, explicaciones y razonamientos. Cuando alguien argumenta trata de demostrar o de probar algo.

Para argumentar se requiere de operaciones mentales de los otros niveles como atender, analizar, entender, reflexionar, recoger y seleccionar evidencias. La argumentación se centra en las siguientes preguntas: ¿se puede comprobar?, ¿cómo?, ¿cuáles son las pruebas o evidencias?, ¿cuáles son las pruebas relevantes o los argumentos?, ¿qué demuestran las pruebas?, ¿no son contradictorias las pruebas?, ¿es lógico el resultado de...?, ¿por qué?

Un argumento para Capaldi (1990) es una serie de aseveraciones (oraciones, proposiciones), que individualmente o en su conjunto "apoyan", "demuestran" o "dan prueba de" otra aseveración. La conclusión es la aseveración que resulta apoyada, demostrada o probada. Todo argumento entraña un tema central y una conclusión apoyada por premisas o razones que supuestamente sirven de pruebas. Un argumento puede no ser coherente con los hechos objetivos sea porque las premisas o razones esgrimidas son, sencillamente falsas, o porque las implicaciones o resultados de la conclusión serían considerados insuficientes o falsos.

Juzgar es otra operación interna (no observable) del sujeto (alumno, profesor...) en la que interviene como juez de lo que se le presentan como datos (hechos, fenómenos, estadísticas, experimentos, conocimientos, etc.). Para poder juzgar objetivamente, el sujeto busca pruebas a favor y en contra de la hipótesis, las sopesa y las critica para finalmente dar el fallo sobre su veracidad o falsedad. Al juzgar se comprueban o rechazan las hipótesis al afirmar o negar algo de la realidad. Para formular el juicio, el sujeto prueba y comprueba las evidencias. Por ejemplo, si me regalan una cadena "plateada" puedo formular la hipótesis de que la misma es de plata o de polimetacrilato de metilo pintado con pintura plateada y tendría que realizar algunas pruebas para comprobar y juzgar si efectivamente así lo es o no.

Juzgar implica cuestionar los hallazgos del entendimiento para establecer si son ciertos (verdaderos) o no (falsos). Supone sopesar las evidencias y pruebas, y preguntarse interiormente ¿en verdad es o no es así en la realidad?, ¿es correcto o incorrecto?, ¿es verdadero o falso?, ¿se está seguro? Con el cuestionamiento crítico sobre las pruebas se emite un juicio fáctico (de verdad): ¿esto es así o no!

Cada ser humano va formulando sus propios juicios pudiendo también asumir como válidos los juicios que realizan otros. Juzgar fácticamente no es describir algo, sino reunir pruebas y evidencias para afirmar si algo es así o no (juicio fáctico). Dentro de los juicios fácticos encontramos los juicios científicos. El científico al observar, entender relaciones, formular hipótesis, experimentar, y comprobar o rechazar hipótesis emite juicios fácticos (como por ejemplo: "¡Sí, es cierto! ¡El cobre conduce el calor").

Los alumnos deben aprender a confrontar sus conocimientos e ideas con argumentos de diversas clases. Un alumno por ejemplo puede suponer que un objeto es de polietileno y el papel del profesor sería cuestionarlo para que el alumno demuestre que efectivamente es de polietileno. ¿Cómo podría probar y juzgar si lo es? Podría hacerle diversas pruebas físicas y químicas tales como observar si brilla o no, si se derrite (funde) o no al calentarlo a baja temperatura, analizar su dureza y resistencia, si conduce o no la electricidad y el calor, si puede formar hilos, si es inalterable por el aire y el agua, si se disuelve o no con diversos solventes orgánicos (agua, alcohol, acetona, éter etílico, hexano, benceno,...), si resiste la presencia de ácidos, etc. Una vez que se cuentan con los hallazgos a favor y en contra podría formular el juicio "¡Sí, este objeto es de polietileno".

Si el razonamiento, la argumentación y el juicio fáctico es erróneo el alumno tendrá, por sí mismo, que darse cuenta.

¿Cómo se aprende inicialmente a argumentar y juzgar? Vygotski (1979) sostiene que el aprendizaje de cualquier cosa ocurre dos veces, primero en el plano interindividual (entre sujetos) y luego intraindividual. A argumentar y juzgar hábilmente se aprende a partir de las interacciones sociales con otras personas, empezando con argumentos en los contextos familiares y educativos (Vygotsky, 1995).

Estos argumentos y juicios fácticos que escucha en la interacción, van haciendo que el sujeto estructure su pensamien-

to y su mente de una determinada manera, pero si en el contexto en el que se desenvuelve no tiene muchas oportunidades para razonar sino sólo para memorizar y repetir, su habilidad para argumentar y juzgar no se desarrolla.

En los significados y conocimientos científicos que el alumno construye en la escuela, la relación de un objeto de conocimiento está mediada desde el comienzo por algún otro significado (Vygostky, 1995). Así, el conocimiento de un significado científico implica una relación respecto a otros significados. Es imposible comprender un significado científico sin recurrir a cualquier otro (sea cotidiano o científico), puesto que no disponemos de significados específicos para todas las áreas de conocimiento.

Bartlett (citado en Meyers, 1986) descubrió que la gente tiende a interpretar información en términos de los conocimientos y conceptos previamente adquiridos, los cuales influyen posteriormente. Si los profesores no ofrecen un marco contextual para dar significado a los contenidos de sus cursos, los alumnos le darán el propio.

Piaget (1967) no usó la palabra argumentación en sus investigaciones y discusión de las operaciones mentales, pero hay un obvio paralelismo entre sus categorías de pensamiento formal o abstracto y lo que se ha definido como el nivel racional, esto es, las operaciones y habilidades para formular generalizaciones, encontrar nuevas alternativas, argumentar y emitir juicios. En el estadio de las operaciones concretas las estructuras mentales de los alumnos se relacionan con lo visible, el mundo tangible de la experiencia inmediata y no con hipótesis verbales. Las operaciones concretas consisten en agrupar, reunir, disociar, clasificar, seriar, corresponder, etc. Las operaciones concretas no se refieren a proposiciones o enunciados verbales, es decir, a simples hipótesis, sino a las operaciones mentales que se realizan con los objetos mismos. En otras palabras, la operación concreta está ligada a la acción sobre los objetos y a la manipulación efectiva o apenas mentalizada. El nivel de operaciones abstractas es aquel que está desligado y liberado de lo tangible, cuando el alumno tiene la capacidad para elaborar teorías o identificar principios o conceptos en las experiencias específicas que pueden ser generalizadas a otras experiencias. Muchos jóvenes y adultos son pensadores concretos en algunas áreas de pensamiento (Meyers, 1986).

Para analizar cómo se utiliza la argumentación en los procesos de enseñanza y aprendizaje de la química enseguida se analizan varios fragmentos de clases universitarias (o de sesiones de laboratorio) de química mediante una perspectiva sociolingüística interpretativa (Cazden, 1989).

Desarrollo de la investigación

El fragmento siguiente se tomó de una sesión teórica del curso de Análisis Químico con alumnos de tercer semestre de la licenciatura en Biología de una universidad pública mexicana. Se encontraban presentes 22 alumnos (11 mujeres y 11 hombres). La edad promedio de los alumnos es de 20.5 años. La profesora previamente solicitó a los alumnos llevar libros de

química y física para la clase. Al iniciar la sesión la profesora pide que busquen en los libros lo que es la densidad. Una alumna lee al grupo lo que encontró en un libro sobre la densidad, otro alumno señala que en el libro que él trae hay una tabla sobre densidades y otro más lee sobre las unidades que se usan. Enseguida la profesora dice:

Extracto 1

- 23 Ma: Ahora explíquenme ustedes ¿qué entendieron sobre el
24 concepto de densidad?
25 Ao: Yo entendí que la densidad representa una relación entre
26 la masa y el volumen.
27 Ao: Que se puede encontrar la densidad de una sustancia
28 dividiendo la masa del cuerpo entre el volumen que
29 ocupa dicho cuerpo.
30 Ma: ¿Han escuchado que existen sustancias más densas que
31 otras?
32 Aa: Sí.
33 Ma: ¿Qué creen Uds. que sea más denso el agua o el aceite?

Hay división de opiniones entre los alumnos. La mayoría de los alumnos dice:

- 34 Aos: El aceite es más denso que el agua.
35 Ma: ¿Por qué creen que el aceite es más denso que el agua?
36 Aa: Porque es más espeso, más viscoso, porque no fluye igual
37 que el agua.
38 Ma: No mencionaste que es más pesado. ¿Tú crees que es
39 más pesado?
40 Aa: Creo que sí.
41 Ma: ¿Han escuchado hablar de los derrames de petróleo en el
42 mar?
43 Aos: Sí (*a coro*).
44 Ma: ¿Por qué creen que el petróleo flota en el mar?
45 Ao: Porque no es miscible con el agua.
46 Ma: Bueno, sí, no se mezclan. Pero ¿por qué flota?
47 Ao: Porque es más ligero.
48 Ao: Sí, ya recuerdo. He visto el aceite en la parte de arriba en
49 un vaso con agua.
50 Ma: ¿Se dan cuenta? El aceite es menos denso que el agua. Lo
51 que creo es que confunden la viscosidad con la densidad,
52 es decir, el que un fluido sea más viscoso no siempre
53 quiere decir que sea más denso. Además, normalmente se
54 usa como parámetro comparativo la densidad del agua, y
55 decimos que hay sustancias más o menos densas que el
56 agua.
57 Ao: Sí, yo he escuchado por ejemplo que el agua es más
58 pesada que el alcohol.
59 Aa: Bueno, a mí ya me confundieron porque ahora mi
60 compañero mencionó que el agua tiene más peso que el
61 aceite. ¿Por qué?, ¿no será que tiene más masa?
62 Ma: Tienes razón. Lo correcto es decir que tiene una mayor
63 cantidad de masa en un determinado volumen. Como ya
64 lo vimos en clases anteriores ¿recuerdan la diferencia
65 entre masa y peso?
66 Aos: Sí.
67 Ma: Hablemos ahora de la densidad de los sólidos.

En este caso se observa que están tratando un concepto de la física muy útil en química, es decir, el concepto de densidad (particularmente de los líquidos) (línea 24). El concepto de densidad se trabaja en la educación pública mexicana desde la secundaria (tanto en el curso de física como de química), es

decir, los alumnos del fragmento no es la primera vez que escuchan hablar del mismo.

La densidad es una propiedad física de todas las sustancias. La densidad es la relación entre la masa de un objeto y su volumen (Chang, 2002 y Kotz, Treichel y Patrich, 2003). Cada sustancia tiene su propia densidad y permite identificarlas y diferenciarlas.

La fórmula para obtener la densidad a partir de la masa y el volumen es:

$$\text{densidad} = \frac{\text{masa}}{\text{volumen}} \quad d = \frac{m}{V}$$

Sus unidades son usualmente g/cm³. La densidad de un material dado no depende de la cantidad de masa presente. Esto se debe a que el volumen aumenta simultáneamente con la masa, de tal manera que la relación de las dos cantidades permanece sin cambio para el material dado. En consecuencia, la densidad es una propiedad intensiva. Puesto que la densidad toma en cuenta la masa y el volumen, el mismo volumen de dos sustancias puede diferir grandemente en cuanto a su masa y, por lo tanto, tendrán diferentes densidades. Además, casi todas las sustancias se expanden cuando se calientan y se contraen cuando se enfrían; pero sus masas no varían. Por lo tanto, la densidad es distinta a diferentes temperaturas, aunque el cambio no es muy grande en los líquidos y los sólidos (Holum, 2004). La densidad del agua líquida a 0°C es de 0.99987 g/cm³ y la del hielo a la misma temperatura es de 0.917 g/cm³ (Daub y cols., 2005). A 4°C, la masa de 1.0 cm³ de agua líquida es 1.0 g. Así, la densidad del agua a 4°C es un gramo por centímetro cúbico (1.0 g/cm³). A 20°C, la densidad del agua es de 0.99823 g/cm³. El agua del mar a 0°C tiene una densidad de 1.02811 g/cm³ y a 4°C, de 1.02778 g/cm³.

La densidad del alcohol etílico a 20°C es 0.798 g/cm³ (Chang, 2002). El mercurio líquido "tiene una densidad de 13.6 g/cm³ y la gasolina 0.67 g/cm³" (American Chemical Society, 1998, p. 22). La densidad del petróleo crudo varía entre 0.75 y 0.95 g/cm³. El tetracloruro de carbono (un líquido transparente e incoloro como el agua) tiene una densidad de 1.594 g/cm³.

La viscosidad, en cambio, es una medida de "la resistencia de un fluido a fluir" (Chang, 2002, p. 425). Entre más viscosidad, el líquido fluye más lentamente.

La profesora les pregunta a sus alumnos qué entendieron sobre el concepto de densidad y una alumna dice que entendió que la densidad representa una relación entre la masa y el volumen. Otro menciona que se puede encontrar la densidad de una sustancia dividiendo la masa del cuerpo entre el volumen que ocupa dicho cuerpo. La profesora les pregunta si han escuchado que existen unas sustancias más densas que otras. Una alumna le responde que sí. Para saber si realmente entendieron el concepto y lo pueden aplicar, les pregunta qué es más denso si el agua o el aceite. La mayoría dice que el aceite es más denso que el agua (línea 34); además, los alumnos del extracto confunden lo que es la densidad con la viscosidad de las sustancias (líneas 36 y 37). La profesora para que entien-

dan y recuerden que el agua es más densa que el aceite les pregunta si han escuchado hablar de los derrames de petróleo en el mar y por qué creen que el petróleo flota en el mar (línea 44). Un alumno contesta que porque el petróleo es más ligero que el agua (línea 47) y otro dice que recuerda que ha visto el aceite en la parte de arriba en un vaso con agua (línea 48).

La profesora pasa a otra cosa sin explicarles bien lo que es la densidad de los líquidos, tampoco concreta si es cierto o no el ejemplo que da el alumno de la línea 57 sobre si el agua es más pesada que el alcohol, menos aún lo que es la viscosidad (línea 38 y 50 a 54), ni la diferencia entre masa y peso.

Este fragmento muestra que los alumnos realmente no han entendido y aprendido lo que es la densidad y que pueden repetir mecánicamente una definición que está escrita en un libro, sin entenderla. Además se observa que la densidad se trata superficialmente. Los alumnos no llegan a entender qué es la densidad, cómo se explica, qué factores la afectan y por qué, cómo se determina.

Las estrategias argumentativas utilizadas por la profesora son ejemplificar y comparar. El ejemplo de la vida cotidiana sobre los derrames de petróleo en el mar y la pregunta posterior de que por qué el petróleo flota en el mar sirven de argumento (prueba) para establecer que el aceite es menos denso que el agua. Son las pruebas para tratar de demostrar que no sólo el petróleo es menos denso que el agua sino también que el aceite lo es. La profesora recurre a algo que posiblemente los alumnos han observado para hacer creíble también lo del aceite. Como prueba de que el aceite es menos denso que el agua la profesora considera lo que dice un alumno en la línea 48. El alumno les dice que recuerda que ha visto el aceite en la parte de arriba en un vaso con agua. Al decir la profesora "¿Se dan cuenta?", y afirmar posteriormente: "El aceite es menos denso que el agua" (línea 50) está aprobando y confirmando que el aceite es menos denso que el agua.

Además se apoya en la comparación pues recurre a sustancias líquidas inmiscibles, de diferente densidad (agua y aceite, y mar y petróleo), en la que una de ellas es más densa que la otra, pudiéndose observar a simple vista la diferencia en la densidad. La profesora hace referencia a que la densidad del agua se usa como parámetro comparativo habiendo sustancias más o menos densas que el agua (líneas 53 a 56).

Las estrategias argumentativas que usa la profesora le sirven para llamar la atención de los alumnos sobre algo seguramente conocido en su vida cotidiana, para ilustrar lo que es la densidad y darse a entender, apelando al uso de los sentidos, la memoria y el recuerdo de sus alumnos para que ellos traigan a su mente algo que han escuchado o quizás observado en algún medio (noticieros televisivos, periódicos, revistas, libros de texto...) sobre los derrames de petróleo en el mar. El alumno de la línea 48 ha estado atento a la exposición y va entendiendo lo que la profesora les está diciendo sobre la densidad. En este caso se observa que el uso de significados cotidianos compartidos que hace la profesora puede tener un efecto significativo positivo en la construcción de un significado cientí-

fico. La estrategia argumentativa que usa el alumno es una descripción.

La profesora emplea el término “aceite” de manera genérica, no aclara si todos los aceites son menos densos que el agua ni hace la distinción entre aceites minerales (derivados del petróleo como los aceites lubricantes para motores y herrajes) y triacilglicéridos líquidos (vegetales y animales) como el aceite de hígado de bacalao, el aceite de cacahuete o el de ricino.

La profesora no lleva a los alumnos a entender, razonar, argumentar y juzgar, no los hace usar sus operaciones mentales para transitar por los tres niveles del método interior y lograr formar el concepto en su mente y tener un aprendizaje significativo.

La profesora tampoco aclara a fondo la confusión del alumno en la línea 59 sobre la diferencia entre el peso y la masa. La masa es una medida de la cantidad de materia mientras que el peso es la fuerza que ejerce la gravedad sobre un objeto. Un limón que cae de un árbol es atraído “hacia abajo” por la fuerza de gravedad de la Tierra. La masa del limón es constante y no depende de la situación, pero su peso sí. Por ejemplo, en la superficie de la Luna el limón pesaría sólo la sexta parte de lo que pesa en la Tierra aunque no haya perdido nada de su masa al trasladarse, dado que la gravedad lunar es sólo un sexto de la terrestre. La masa se puede determinar con facilidad empleando una balanza. Normalmente no se les aclara a fondo la diferencia. Cuando se dice a los alumnos que “pesen” algo en una balanza realmente lo que se hace es pedirles que determinen su masa y no su peso.

No es lo mismo que un alumno diga: “Supongo (hipótesis) que el aceite es más denso que el agua”, que asegure: “No es cierta mi hipótesis. Ya comprobé que el aceite es menos denso que el agua” (juicio fáctico). Esta segunda operación mental realizada es mucho más profunda, compleja y significativa que la simple formulación de la suposición pues está comprobando que la hipótesis no es cierta y está afirmando que el aceite es realmente menos denso que el agua.

¿Cómo llevar a los alumnos a pensar, entender, reflexionar, argumentar y juzgar para que realmente aprendan lo que es la densidad?

La profesora podría haber retomado las expresiones de los alumnos y plantear al grupo que uno de sus compañeros tiene la hipótesis de que el aceite es más denso que el agua. Posteriormente podría pedirles que le demuestren que así es, ya sea dando ejemplos de hechos que hayan observado o trayéndole pruebas para confirmar o rechazar la hipótesis de su compañero.

La expresión de los alumnos en la línea 34, nos hace notar que no han observado lo que ocurre a su alrededor pues hay varios ejemplos de la vida cotidiana que muestran que el aceite vegetal es menos denso que el agua, como cuando en las casas se cocinan los frijoles o la sopa de pasta o de verduras y el aceite flota porque es menos denso que el agua e inmiscible con ella. Lo mismo ocurre al cocinar las piezas de pollo con agua: la grasa del pollo flota.

El agua no disuelve ni el aceite ni el petróleo y por eso forman una capa aparte; es decir, se trata de una mezcla hete-

rogénea en la que pueden observarse las diferencias de las densidades de los dos líquidos.

También la profesora podría pedir que verifiquen las densidades que se encontraron en la tabla, preguntarles: ¿cómo se pueden verificar?, ¿son ciertas?, ¿realmente cambian a distintas temperaturas?, ¿por qué?, ¿qué explica las diferentes densidades? Además puede pedir que determinen la densidad de las sustancias (agua, agua de mar, aceite mineral para motor, aceite lubricante casero, aceites de oliva, coco, ricino, girasol, maíz, almendra o de hígado de bacalao, miel, benceno, éter dietílico, tetracloruro de carbono, alcohol etílico, ...).

Otra pregunta que podría formular la profesora a sus alumnos con respecto a la densidad sería: ¿todos los aceites (de cocina, cosméticos, aceite mineral, aceites para motores de automóviles, tanto puros como usados, ...) son menos densos que el agua?

Con respecto al agua, ¿qué es más densa el agua o el agua del mar?, ¿por qué?, ¿es cierto o no que el agua en estado sólido es menos densa que el agua en estado líquido?, ¿cuáles son las pruebas de esto?, ¿cómo lo pueden comprobar?, ¿cómo se explican las diferencias? Éstas son preguntas para la reflexión y argumentación porque ella no les estaría preguntando qué es el agua, o qué tipo de estados de la materia existen o cuál es la diferencia entre un líquido o un sólido. Ella tampoco esperaría una explicación de qué es la densidad o cuál es la densidad del agua o cómo se calcula, simplemente espera como respuesta un “sí” o un “no”, es decir, un juicio fáctico (de los hechos) en el que los alumnos reflexionen las preguntas que les hace, recuerden sus experiencias con el hielo y el agua líquida, tomen en cuenta las evidencias o las pruebas de que el hielo sea menos denso que el agua en estado líquido y respondan la pregunta. Si los alumnos recuerdan, entienden lo que se les pide y reflexionan, pueden encontrar evidencias de que el hielo sea menos denso que el agua. Por ejemplo cuando se hayan servido agua en un vaso y hayan observado que al agregarle unos cubos de hielo, los cubos de hielo flotan en el vaso, o bien recordar películas, programas de televisión o caricaturas cuando un lago se cubre de hielo, y al romperlo, el hielo sigue flotando sobre el agua.

En este fragmento hay muchos conceptos implícitos que el alumno debe haber significado, entendido, razonado y aprendido para formar el concepto de densidad (materia, estados de la materia, sólido, líquido, sustancia, clases de sustancias, elemento, compuesto, mezcla, mezcla homogénea, mezcla heterogénea, solubilidad, disolución, miscibilidad, inmiscibilidad, fases, propiedades físicas, punto de fusión, flotación, medida, medición, cantidad, relación, masa, peso, volumen, fuerza, fuerza de gravedad, fuerzas de atracción y de repulsión, temperatura, escalas de temperatura, átomos, moléculas, enlaces, tipos de enlaces, polaridad, moléculas polares y no polares, ...).

Pasemos ahora a revisar otro fragmento

El extracto siguiente corresponde a una sesión de laboratorio de Química Orgánica II, con alumnos de cuarto cuatrimestre

de la carrera de Farmacéutico en una universidad pública mexicana. Los alumnos tienen entre 20 y 21 años de edad. Los alumnos iban a obtener dos halogenuros de alquilo (cloruro de *t*-butilo y bromuro de *n*-butilo) y un alqueno (isobutileno). Asistieron 12 alumnos, de los cuales nueve eran mujeres. Los alumnos expusieron los mecanismos de las reacciones y se encuentran hablando sobre las velocidades de las reacciones de sustitución nucleofílica uni y bimolecular.

Extracto 2

- 303 Mo: ¿Cómo... cómo se puede determinar por ejemplo
304 en este caso que la velocidad de la reacción
305 depende del nucleófilo o de la concentración del
306 halogenuro? o ¿cómo es que se determina que
307 depende de la concentración de ambos reactivos?,
308 ¿cómo se determinaría?
309 Gloria: Haciendo dos, dos tipos de... de comparaciones.
310 Bueno, yo pienso que una agregando en alta
311 concentración el nucleófilo y la otra en menor.
312 Hacer precisamente ese análisis paso a paso cada
313 una de las reacciones separadas y ver cuál es más
314 rápido y cuál es más lento.
315 Mo: Cuando hablamos de velocidad de la reacción
316 ¿qué... qué concepto tienen de ello?
317 Fabián: Pues qué tan rápido se combinan.
318 Aos: Qué tan rápido... (*varios hablan a la vez y no se
entiende lo que dicen*).
319 Mo: A ver, otra vez. Más fuerte.
320 Juan: Qué tan rápido alcanzan el equilibrio.
321 Mo: Eso del equilibrio, ¿se entiende como que hay
322 cantidades iguales de reactivos y de productos?
323 Aa: Sí.
324 Ao: No, yo pienso que cuando alguien reacciona.
325 Mo: Y ¿cómo sé en ese momento quién reacciona más
326 rápido o más lentamente?

Los alumnos guardan silencio.

- 327 Mo: Regresamos otra vez a la pregunta ¿qué
328 entendemos por velocidad de la reacción?

Los alumnos guardan silencio.

- 329 Gloria: Bueno... no, sinceramente así no sé, pero
330 supuestamente para sacar la velocidad de la
331 reacción es... es igual a una constante por la
332 concentración. Si es una este... una reacción
333 unimolecular...es entonces por la concentración
334 del... del halogenuro, si es bimolecular por la
335 concentración tanto del halogenuro como del
336 nucleófilo.
337 Mo: Bueno... ¿quién tiene otro concepto de la velocidad
338 de la reacción?

Los alumnos guardan silencio.

- 339 Mo: ¿Cómo podemos determinar entre dos personas quién
340 es más veloz?
342 Fabián: Poniéndolos a correr.
343 Mo: Poniéndolos a correr.
344 Aa: Tomando tiempos.
345 Mo: Tomando tiempos, ¿qué más?
346 Gloria: Poniéndolos a correr al mismo tiempo.
347 Mo: Y, ¿cómo sabes tú cuando una persona es más veloz

- 348 que otra?
349 Gloria: Por pruebas. El que llegue a la meta más rápido.
350 Mo: A ver, más fuerte.
351 Gloria: El que llegue a la... a la meta más rápido o a
352 donde tenga que llegar. Por ejemplo, la velocidad
353 de la reacción sería este... la velocidad al
354 llegar a formar los productos hasta que se haya
355 este... finalizado todo.
356 Mo: Será que quién... hablando de lo de la carrera,
357 ¿quién recorre esa distancia en menos tiempo?
358 Aos: Sí (*a coro*).
359 Mo: Y, ¿hablando de la velocidad de la reacción?
360 Fabián: Quien forme los productos primero.
361 Mo: Quien se transforme en productos en menos tiempo.
362 Ésa es la velocidad de la reacción, o sea el
363 tiempo que transcurre para convertirse de
364 reactivos a productos en... en una reacción.
365 Ahora ya cómo lo determina uno, eso es otra cosa.

La cinética química estudia cómo, qué tan rápido ocurren las reacciones químicas y los factores que afectan la velocidad de reacción (temperatura, concentración, ...). Para explicar el significado de velocidad de reacción, Dickson (1992) compara la explosión de un dirigible lleno de hidrógeno y el enmohecimiento de un clavo de hierro. Expone que en 1939, el dirigible "Hindenburg", lleno de hidrógeno, explotó violentamente mientras aterrizaba en New Jersey. El problema se debió a que el hidrógeno se mezcló con el oxígeno del aire, y al quemarse, reaccionaron violentamente. Una explosión es una reacción química rápida. Confronta la rapidez de la explosión, con el enmohecimiento de un clavo expuesto al medio ambiente. El fierro del clavo reacciona con el oxígeno del aire, pero tarda años para que se convierta todo el fierro a óxido de fierro (polvo amarillo-rojizo). En este caso, el enmohecimiento es una reacción lenta. Después de la comparación explica Dickson (1992) que la velocidad de reacción es "la rapidez con que ocurra el proceso químico" (p. 208).

Chang y Silberberg (2006) ejemplifican que algunas reacciones, como la neutralización, la precipitación o un proceso redox explosivo, parecen llevarse a cabo como las reacciones que ocurren al cocinar o en la oxidación, toman un tiempo moderadamente largo, de minutos a meses. Algunas otras toman mucho más: las reacciones que producen el proceso de envejecimiento en los humanos continúan por décadas, y aquellas en la formación de carbón a partir de plantas muertas toman cientos de millones de años. Es importante conocer qué tan rápido ocurre un cambio químico. Cuán rápido actúa una medicina o se coagula la sangre puede hacer la diferencia entre la vida y la muerte. Cuánto tiempo tarda el pegamento o el cemento en endurecer, el polietileno en formarse o una tela en teñirse puede hacer la diferencia entre ganancias y pérdidas. En general, "las velocidades de estos diversos procesos dependen de las mismas variables, la mayoría de las cuales pueden manipular los químicos para maximizar los rendimientos de un tiempo dado o disminuir una reacción no deseada" (p. 164).

Realizan la siguiente analogía para explicar la velocidad de la reacción. "Suponga por ejemplo, de un caballo de carreras, que medimos su posición inicial (x_1) en el tiempo (t_1) y su

posición final (x_2) en el tiempo (t_2). La velocidad promedio del caballo está dada por

$$\begin{aligned}\text{velocidad de movimiento} &= \frac{\text{cambio en la posición}}{\text{cambio en el tiempo}} \\ &= \frac{x_2 - x_1}{t_2 - t_1} = \frac{\Delta x}{\Delta t}\end{aligned}$$

En el caso de un cambio químico, nos interesa la velocidad de reacción, *los cambios en las concentraciones de los reactivos o productos por unidad de tiempo: las concentraciones de los reactivos disminuyen mientras aumentan las concentraciones de los productos* (p. 167).

Vollrath Hopp (1984) dice que si un auto recorre en una hora un trayecto de 50 km, su velocidad de marcha es de 50 km/h.

$$\text{velocidad} = \frac{\text{distancia recorrida}}{\text{tiempo empleado}} = \frac{\Delta s}{t} = \frac{50 \text{ km}}{1 \text{ h}} = 50 \text{ km/h}$$

Así, si en una reacción química se obtienen 50 kg de un producto final durante 1 h, la velocidad de reacción es de 50 kg/h. Por analogía llega al concepto de velocidad de reacción.

Chang (2002) explica que algunas personas pueden correr rápidamente, otras corren de manera más lenta y otras no corren; lo mismo ocurre con las moléculas: algunas son muy reactivas, otras reaccionan con menor rapidez y otras reaccionan muy lentamente. Así, “el tiempo que Ud. tarda en hornear galletas con chispas de chocolate depende de la velocidad con que el polvo para hornear (bicarbonato de sodio o carbonato ácido de sodio) se descomponga a 350°F” (p. 547). Para justificar el efecto del aumento de la concentración de un reactivo en la velocidad de reacción expresa que a medida que aumenta la cantidad de personas en un cuarto pequeño, aumentan las oportunidades de chocar con alguien. De manera semejante si se incrementa la concentración de las moléculas ocurren más colisiones.

La velocidad de reacción es “la variación de la concentración de un reactivo o producto en un sistema” (Ibanez, Hernández-Esparza, Doria-Serrano, Fregoso-Infante y Mohan, 2007, p. 51) o “el intervalo de tiempo que transcurre para que cambie la concentración de reactivos o productos” (Chang, 1997, p. 542, y Keenan, Kleinfelter y Wood, 1992, p. 437) o “la rapidez de aparición de un producto (o productos) o la desaparición de un reactivo (o reactivos)” (Garritz y Chamizo, 1994, p. 655 y Holum, 2004, p. 233). De acuerdo con la teoría sobre las moléculas en colisión, la velocidad de reacción es “el número de colisiones productivas por segundo, por centímetro cúbico” (Holum, 2004, p. 233).

El concepto de velocidad de reacción como otros conceptos relacionados, son conceptos abstractos que difícilmente los alumnos entienden realmente y aprenden.

Garritz (1997) por ejemplo, refiere dificultades de los estudiantes para entender el concepto de equilibrio químico y propone una analogía para explicarlo. Por su parte Medina-Valtierra, Martínez-Alvarado y Ramírez-Ortiz (2002) sugie-

ren otra analogía para dar a entender el mismo concepto.

En este caso nos interesa saber qué significa y que entienden sobre la velocidad de reacción un profesor y su grupo de alumnos. Cabe aclarar que previamente tanto en el bachillerato como en los cursos universitarios de Química General y Química Orgánica I se trabaja el concepto de velocidad de reacción.

En este fragmento, el profesor pregunta a los alumnos qué entienden por velocidad de la reacción. Fabián responde que la velocidad de la reacción les indica qué tan rápido se combinan. Los demás alumnos repiten qué tan rápido, pero varios hablan a la vez y no se entiende lo que plantean. El profesor les pide que respondan otra vez pero más fuerte. Juan contesta diciéndole que la velocidad de la reacción es qué tan rápido alcanzan el equilibrio.

El profesor retoma una de las palabras que menciona Juan y les pregunta a los alumnos que si eso del equilibrio se entiende como que hay cantidades iguales de reactivos y de productos. Una alumna responde que sí y otro alumno dice que él piensa que es cuando alguien reacciona. El profesor toma en cuenta las palabras del alumno y pregunta nuevamente que cómo se sabe en ese momento quién reacciona más rápido o más lento. Los alumnos permanecen en silencio y el profesor insiste en preguntar qué entienden por velocidad de la reacción (línea 327 y 328).

Los alumnos permanecen en silencio y Gloria expone que la velocidad de la reacción tiene que ver con las concentraciones de los halogenuros. Ningún alumno habla y, al parecer, su silencio hace notar al profesor que no es simple para ellos exponer el significado de “velocidad de reacción”. El profesor cambia la pregunta utilizando una analogía con significados cotidianos compartidos, es decir, les pregunta que cómo se puede determinar entre dos personas quién es más veloz. Fabián significa las palabras del profesor y le contesta que poniéndolos a correr, otra alumna, que tomando tiempos y Gloria sostiene que poniéndolos a correr al mismo tiempo. El profesor le pregunta a Gloria que cómo sabe cuando una persona es más veloz que otra. Gloria le contesta que por pruebas, que es más veloz el que llegue a la meta más rápido. El profesor le pide que eso lo diga más fuerte para que escuchen sus compañeros. Gloria repite que el que llegue a la meta más rápido o a donde tenga que llegar. Después Gloria deja de referirse a los significados cotidianos compartidos y expresa que la velocidad de la reacción sería la velocidad al llegar a formar los productos hasta que se haya finalizado todo. El profesor, al parecer, no está de acuerdo con el comentario de Gloria, pues retoma otra vez los significados cotidianos compartidos (líneas 356 y 357). Les vuelve a preguntar si estarían de acuerdo que sería más veloz la persona que recorre la distancia previamente determinada en menos tiempo. Los alumnos a coro le responden que sí. Aquí el profesor está completando los significados compartidos que han de trasladarse a los científicos, dado que la respuesta de Gloria había sido que sería más rápido quien llegara a la meta más rápido y el profesor centra la atención de los alumnos en el recorrido, la dis-

tancia y el tiempo. Después el profesor pide que trasladen los significados cotidianos a los científicos preguntándoles qué significaría hablar de la velocidad de la reacción.

Fabián contesta al profesor que la velocidad de la reacción está relacionada con “quien forme los productos primero”. El profesor no comparte el traslado de significados hechos por Fabián, ya que él inmediatamente de la línea 361 a 364, traslada los significados compartidos a científicos. Les dice que la velocidad de una reacción química tiene que ver con la rapidez, con el tiempo que transcurre en una reacción para que los reactivos se conviertan en productos. El profesor insiste en el “tiempo” y en la transformación en productos. Después el profesor establece los límites del significado pues señala que otra cosa diferente es cómo determinar la velocidad de la reacción.

El profesor formula el siguiente razonamiento analógico entre significados cotidianos y científicos:

Significados cotidianos compartidos

Si la rapidez o **velocidad** en una carrera entre dos personas es el **tiempo** que tardan en recorrer una distancia determinada (líneas 356 y 357).

Significados científicos

La **velocidad** de la reacción es el **tiempo** que transcurre para la transformación de reactivos a productos (líneas 362 a 364).

Relación de significados

La **velocidad** es el **tiempo** para que ocurra un proceso (el desplazamiento de dos personas de un lugar a otro o una reacción química).

La analogía se construye tan sólo para explicar que así como hay corredores veloces y lentos, hay reacciones químicas rápidas y lentas. La velocidad la relaciona el profesor con la rapidez o el tiempo que se tarda un proceso (líneas 356-357 y 362-364). Enfatiza mucho en el tiempo; sin embargo, la velocidad es un cambio en alguna variable (distancia, volumen o concentración) por unidad de tiempo. La velocidad de una reacción química es el cambio de concentración de una sustancia (reactivo o producto) por unidad de tiempo (Chang, 2002; Kotz, Treichel y Patrich, 2003; Silberberg, 1996 y Moore, Kotz, Stanitski, Joesten y Wood, 2000). La velocidad a la cual fluye el agua de una llave es el volumen que fluye por unidad de tiempo (L/min), la velocidad de un automóvil la distancia que recorre por unidad de tiempo (km/h), la velocidad del viento es el promedio aritmético de las velocidades medidas en un lapso de 10 minutos, su unidad de medición es en km/h.

Los alumnos en el fragmento van siguiendo la lógica del profesor cuando utiliza los significados cotidianos, es decir, cuando les pregunta y comentan cómo se puede determinar entre dos personas quién es más veloz en una carrera. Gloria hace un intento por trasladar los significados cotidianos a científicos; sin embargo, no habla del tiempo ni de la rapidez. El profesor es el que formula el significado científico y no hace más comentarios, aclaraciones o preguntas para indagar

el alcance del razonamiento. No se puede saber si los alumnos trasladaron el significado cotidiano al científico después de que el profesor expresa lo que significa la velocidad de la reacción, pues inmediatamente pasa a otra cosa. Menos aún podríamos asegurar que los alumnos dieron significado a la similitud.

No es posible conocer más a fondo cómo interpretan los alumnos lo que dice el docente porque él traslada los significados. Tampoco verifica que los alumnos sigan el razonamiento analógico.

Los alumnos escuchan atentamente al docente y se involucran en la sesión cuando se expresan los significados cotidianos, pero no es posible asegurar que todos significaron y entendieron la analogía. De la línea 353 a la 355, Gloria intenta trasladar los significados cotidianos a científicos, pero inmediatamente el docente realiza una evaluación de lo que expresa Gloria y vuelve a los significados cotidianos para formular él la analogía.

Podría estudiarse el efecto que producen las analogías en los alumnos si el docente los hiciera participar más, esperara sus respuestas, los estimulara a plantear sus dudas o les preguntara algo relacionado con lo que quiere dar a entender.

Para que los alumnos entiendan y aprendan lo que es la velocidad de la reacción el profesor puede pedir a los alumnos que ejemplifiquen diferentes tipos de velocidades (de automóviles, personas, animales, fluidos,...) y después que ejemplifiquen reacciones y cómo saber y demostrar lo que es la velocidad de la reacción. Seguramente el alumno ha experimentado reacciones rápidas y otras lentas, por ejemplo cuando un Alka Seltzer® se agrega a un vaso con agua, la reacción del bicarbonato de sodio con jugo de limón, la oxidación del aguacate, de la papa, de la lechuga...

Según Piaget (1967) la noción racional de velocidad, concebida como una relación entre el espacio recorrido y el tiempo, se elabora en conexión con el tiempo hacia aproximadamente los ocho años de edad.

Conclusiones

Todos los seres humanos somos capaces de argumentar y juzgar pues ambas son operaciones mentales que compartimos. Argumentamos y juzgamos con nosotros mismos y con otras personas en conversaciones informales, sesiones de clase, en entrevistas, en artículos, en debates, en entrevistas, etc. Lo esencial de la argumentación y el juicio fáctico son las pruebas y razones que sustentan un hecho, un conocimiento, una tesis, un problema, un conflicto, una postura...

En los fragmentos analizados destacan dos usos de la argumentación en las clases de química: presentar o ilustrar los contenidos y hacer que los alumnos den significado y entiendan conceptos abstractos mediante ejemplos o analogías con significados cotidianos compartidos. Los argumentos (las pruebas y evidencias) ayudan a los alumnos a recordar y traer a la mente situaciones, experiencias o datos conocidos que posiblemente les permiten entender.

Las estrategias argumentativas utilizadas son la comparación, ejemplificación, descripción y el uso de analogías.

Los profesores validan y demuestran con los ejemplos y analogías los conceptos. Aunque los profesores explícitamente no lo reconozcan, ellos tratan de convencer a sus alumnos con un propósito o intencionalidad: demostrarles que los conocimientos científicos son ciertos. La demostración conduce a juicios fácticos y conclusiones.

No es lo mismo memorizar y repetir la definición de un concepto que haber entendido y formado en la mente ese concepto.

Se requiere elevar el nivel de las operaciones mentales que manejan los alumnos, y promover así más reflexiones, argumentaciones y elaboraciones de sus propios juicios fácticos. Cuando el profesor usa analogías es conveniente pedir a los alumnos que expresen oralmente o por escrito qué han entendido de la relación que se ha elaborado.

Si queremos que nuestros alumnos aprendan a argumentar y juzgar tendremos que enseñarles cómo hacerlo.

Al iniciar un tema el profesor puede indagar qué saben y qué han entendido de ese tema o de los conceptos que van a trabajar. No debe olvidar que el proceso de cognición empieza con la sensorpercepción de colores, olores, sonidos, objetos, etc. Es pertinente que haga que sus alumnos usen sus sentidos: ver, oír, oler, gustar, tocar y las diferentes operaciones mentales de los tres niveles. Es clave iniciar el tema con aquello que saben o han oído, visto, tocado o sentido o con lo concreto, es decir, con aquello que pueden pensar viendo, oliendo o tocando para después pasar a operaciones del primer, segundo y tercer nivel. Se requiere partir de los significados cotidianos compartidos y contruidos para después pasar a los significados científicos.

Esto parece tan sólo simple sentido común, pero está en dirección opuesta a la enseñanza tradicional de la química, en la cual los profesores presentan primero los conocimientos científicos abstractos por considerar que son lo más relevante y fundamental que les pueden enseñar a sus alumnos. Normalmente los conceptos y teorías son presentados primero y no se le da la oportunidad al alumno de entenderlos, confirmarlos, criticarlos, refutarlos. El profesor no tiene que conformarse con enseñar todo superficialmente y con recibir respuestas cerradas o breves de sus alumnos. Tiene la opción de establecer otra dinámica para las respuestas y formulación de preguntas de los alumnos (por ejemplo, pidiéndoles pruebas y razones que apoyen sus conocimientos o ideas, solicitándoles que consideren otras alternativas o evidencias).

Es pertinente no avanzar en la enseñanza de un concepto nuevo sin verificar que han construido en su mente los conceptos relacionados que le llevarán a entender los nuevos y que ellos hayan confirmado lo que plantean sobre conceptos previos. Estimulemos a los alumnos a buscar argumentos (datos, evidencias, pruebas, razones,..), a demandarles que verifiquen si es cierto o no lo que plantean, a encontrar contradicciones, a presentar argumentos probatorios o revocatorios, a refutar lo presentado. El propósito de aprender a argumentar es el de preparar a los alumnos para que su aprendizaje sea significativo.

El profesor puede pedirles antes de que termine la clase que recuerden y hagan una síntesis de lo tratado, que expliquen lo que entendieron, que imaginen, que busquen pruebas o ejemplos de lo visto. Además, convencer a sus alumnos que no sirve de casi nada tener conocimientos que no se entienden. También podría decirles que su cabeza es como una cámara fotográfica (o una videocámara), pedirles que retraten (o filmen) en su mente lo que trataron ese día en clase y que elaboren otras fotografías (o videos) en su mente conectando lo que aprendieron con otras cosas que ya saben o les gustaría saber. Que así como memorizan, recuerdan e imaginan a personas —su novio(a) o amigos(as)— y sus experiencias con ellos, hagan el esfuerzo de llevar a su interior, a su mente lo entendido y aprendido. Demandarles constantemente que reúnan pruebas, que las verifiquen, que las confirmen.

Recordemos que no entendemos y aprendemos todos al mismo tiempo, que el alumno necesita darle significado a lo que se está presentando, que tiene que entender, reflexionar, argumentar y juzgar para aprender significativamente.

No olvidemos formularles a los alumnos preguntas que estimulen las operaciones mentales del tercer nivel tales como las siguientes: ¿cómo se puede comprobar?, ¿cuáles son las pruebas, evidencias o razonamientos?, ¿qué demuestran las pruebas?, ¿no son contradictorias las pruebas?, ¿es lógico el resultado de...?, ¿por qué?, ¿en verdad es o no es así en la realidad?, ¿es correcto o incorrecto?, ¿es verdadero o falso?, ¿estás seguro(a)?.

Dejo abiertas algunas interrogantes para reflexionar ¿cuántas lagunas, dudas, confusiones, contradicciones y preguntas dejamos en nuestros alumnos cuando les enseñamos o cuando llevamos al pie de la letra el programa o el contenido de un texto?, ¿qué podemos hacer?, ¿qué privilegiar, terminar el contenido del curso o permitir el desarrollo intelectual del alumno?, ¿podríamos girar las sesiones de clases en torno del alumno y sus operaciones mentales (pensar, reflexionar, argumentar y juzgar) en lugar de en torno del conocimiento?

Como profesores ¿realmente hemos entendido y juzgado todo lo que enseñamos?

Termino el artículo felicitando al Comité Editorial de *Educación Química*, a quienes contribuyen con sus textos, a los dictaminadores y a los lectores por el XX Aniversario de la revista. Asimismo, agradezco sinceramente que me hayan invitado a escribir para este número al Comité Editorial y particularmente al Dr. Andoni Garritz Ruiz.

Referencias bibliográficas

- American Chemical Society, *QuimCom. Química en la comunidad*, México, Addison Wesley Longman y Pearson, 2ª ed., 1998.
- Barker, S., *Elementos de lógica*, México, McGraw-Hill Interamericana, 1991.
- Calderón D. y León O., *La argumentación en matemáticas en el aula: Una oportunidad para la diversidad*, Colombia,

- Facultad de Educación, Universidad Externado de Colombia, Colciencias-BID, 1996.
- Capaldi, N., *Cómo ganar una discusión*, Barcelona, Gedisa, 1990.
- Cazden, C., El discurso del aula. En M. Wittrock (comp.), *La investigación de la enseñanza III*, Barcelona, Paidós, MEC, 1989.
- Copi, I., *Introducción a la lógica*, Argentina, Editorial Universitaria de Buenos Aires, 1984.
- Correa J., Dimaté C. y Martínez N., *Saber y saberlo demostrar. Hacia una didáctica de la argumentación*, Colombia, Universidad Externado de Colombia, Colciencias, Facultad de Ciencias de la Educación, 1999.
- Cros, A., *Convencer en clase. Argumentación y discurso docente*, Barcelona, Ariel, 2003.
- Chang, R., *Chemistry*, USA, McGraw-Hill, 7th ed., 2002.
- Chang, R., *Química*. México, McGraw-Hill Interamericana, 4ª ed., 1997.
- Chang, R. y Silberberg, M., *Química*, México, McGraw-Hill Interamericana, 2006.
- Daub, W., Seese W., Carrillo M., González R., Montagut P., Nieto E., Sansón C., *Química*, México, Pearson Educación, 2005.
- Dickson, T., *Introducción a la química*. México, Publicaciones Cultural, 1992.
- Garritz, A., The painting-sponging analogy for chemical equilibrium, *Journal of Chemical Education*, 74, 5, 544-545, 1997.
- Garritz, A., y Chamizo A., *Química*, USA, Addison-Wesley Iberoamericana, 1994.
- Guétmanova, A., *Lógica*, URSS, Progreso, 1989.
- Holum, J., *Introducción a los principios de química*, México, Limusa, 2004.
- Hopp, V., *Principios fundamentales de química*, España, Reverte, 1984.
- Ibanez, J., Hernández-Esparza M., Doria-Serrano C., Fregoso-Infante A. y Mohan S., *Environmental chemistry. Fundamentals*, New York, Springer Science, 2007.
- Keenan, Ch., Kleinfelter, D. y Wood, J., *Química general universitaria*, México, Compañía Editorial Continental, 3ª ed., 1992.
- Kotz, J., Treichel P. y Patrich H., *Química y reactividad química*, México, International Thomson, 5ª ed., 2003.
- Lonergan, B., *Insight. Estudio sobre la comprensión humana*, Salamanca, Sígueme y Universidad Iberoamericana, 1999.
- Medina-Valtierra, J., Martínez-Alvarado, R., Ramírez-Ortiz, J., Otra analogía para definir el equilibrio químico, *Revista Mexicana de Ingeniería Química*, I, 81-84, 2002.
- Meyers, Ch., *Teaching students to think critically. A guide for faculty in all disciplines*, San Francisco, Jossey-Bass Publishers, 1986.
- Moore, J., Kotz J., Stanitski C., Joesten M. y Wood J., *El mundo de la química: conceptos y aplicaciones*, México, Addison-Wesley Longman, 2000.
- Piaget, J., *Six psychological studies*, USA, Random House, 1967.
- Silberberg, M., *Chemistry. The molecular nature of matter and change*, USA, Mosby, 1996.
- Sternberg, R. y Spear-Swerling, L., *Teaching for thinking*, Washington, American Psychological Association, 1996.
- Tishman, S., Perkins, D. y Jay H., *Un aula para pensar. Aprender y enseñar en una cultura de pensamiento*, Buenos Aires, Aique, 3ª ed., 1994.
- Vygotski, L., *El desarrollo de los procesos psicológicos superiores*, Barcelona, Crítica, 1979.
- Vygotsky, L., *Pensamiento y lenguaje*, Barcelona, Paidós, 1995.