

Fuerzas intermoleculares y su relación con propiedades físicas: búsqueda de obstáculos que dificultan su aprendizaje significativo

Noemí Torres, Leonor Landau, Erwin Baumgartner y Haydee Monteserin¹

ABSTRACT (Intermolecular forces and their relation with physical properties: search of obstacles which hinder their significant learning)

In order to investigate the origin of difficulties detected in students of the first university course of Chemistry, in the topic of intermolecular forces and their relation with physical properties, a combined study among high school and university students was initiated. In it, the way pupils at high schools learn this particular topic was searched to find out how they are positioned. In the present work, the test designed for such a purpose and its analysis carried out by means of a multistrategic approach is presented.

KEYWORDS: intermolecular forces, physical properties, thinking patterns, obstacles, significant learning

Introducción

El curso de Química correspondiente al primer año de estudios universitarios de la Universidad de Buenos Aires es común a varias carreras y debido a ello es de carácter masivo, con aproximadamente 12 000 alumnos por cuatrimestre en la actualidad. El programa de la materia incluye tanto nociones básicas de química general como aquellos contenidos más relacionados con las diferentes disciplinas, en especial del área de la salud, que actualmente convoca a la mayor parte de nuestra población estudiantil. La necesidad de incluir nociones de química orgánica nos condujo a un enfoque del tema que propone, para facilitar su aprendizaje significativo (Ausbel, Novak y Hanesian, 1978; Pozo, 1993), centrar el estudio de los rudimentos de química orgánica en el análisis de algunas propiedades físicas de las distintas familias de compuestos, basado en las fuerzas intermoleculares actuantes. De esta manera, al profundizar la relación existente entre la estructura de las sustancias y sus propiedades, desarrollada previamente con los ejemplos clásicos de la química inorgánica, intentamos facilitar la asimilación de las características de los diferentes grupos funcionales. Esta forma de desarrollar el tema difiere del normalmente expuesto en la bibliografía habitual de química general que incluye algunos capítulos de química orgánica (Torres *et al.*, 2005).

En la figura 1 se muestra el nivel de profundidad con que se desarrolla el tema en el curso y la jerarquización de los

conceptos utilizados que involucran tres niveles de organización de la materia: átomo, molécula y sustancia, y que permiten explicar las propiedades macroscópicas de las sustancias.

La complejidad del tema para los alumnos se ha manifestado a través de las evaluaciones periódicas de la materia. Hemos detectado en nuestros alumnos dificultades conceptuales en cada nivel de organización de la materia y en el pasaje de un nivel a otro.

La reducción funcional consistente en considerar la polaridad de enlace como la polaridad molecular o asignar preponderancia a una fuerza intermolecular desconociendo la presencia de otras, sin la necesaria comparación relativa entre ellas, da cuenta de las dificultades en un mismo nivel de organización, algunas de ellas ya catalogadas por otros investigadores. En cuanto a los obstáculos detectados en el pasaje de un nivel de organización a otro encontramos, por ejemplo, que los alumnos confunden la energía asociada a las fuerzas intermoleculares, correspondientes al nivel de organización dado por las sustancias, con la energía necesaria para romper un enlace dentro de una molécula, que pertenece al nivel de organización anterior. Otro ejemplo, que da cuenta de la confusión de los alumnos entre distintos niveles de organización de la materia, es el de asociar la interacción dipolo-dipolo correspondiente al nivel de las sustancias, con la polaridad de enlace correspondiente al nivel molecular.

Las dificultades mencionadas conducen a nuestros alumnos a realizar excesivas simplificaciones, tales como considerar sólo el número de fuerzas y no la intensidad de las mismas, o aun ignorar la existencia de otras fuerzas ante la posible interacción por enlace de hidrógeno (Monteserin *et al.*, 2008).

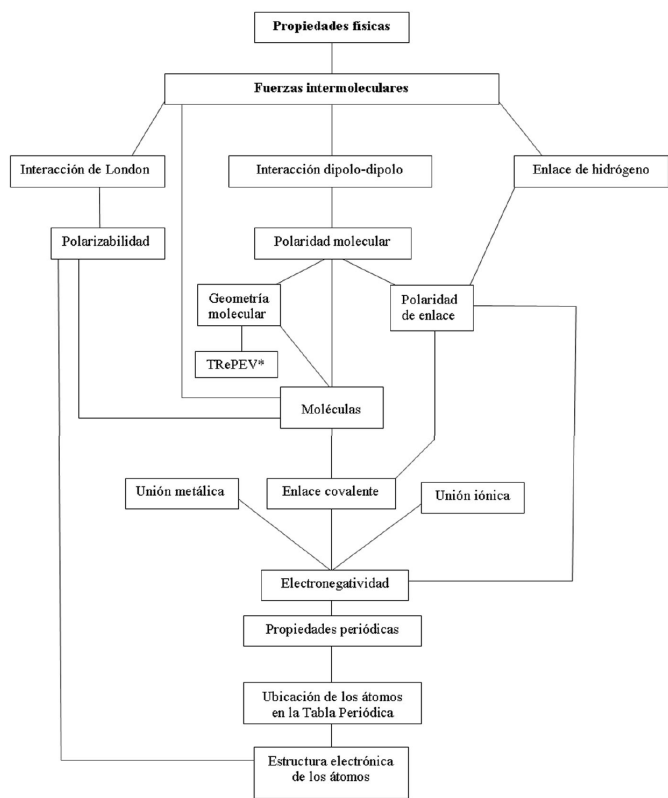
El estudio de las causas de esta problemática sería incompleto si dejáramos de considerar las nociones del tema adquiridas en el nivel educativo previo, es decir en la escuela media (Mammino, 2002). Asimismo el análisis de las dificultades en el aprendizaje incluye, entre otras variables, no sólo la consi-

¹ Cátedra de Química, Departamento de Ciencias Exactas. Ciclo Básico Común, Universidad de Buenos Aires. Ciudad Universitaria. Pab. III. C.A.B.A. (C.P. 1428). Argentina.

Correos electrónicos (primera autora): ntorres_51@hotmail.com; ntorres@telered.com.ar

Fecha de recepción: 4 de julio 2009.

Fecha de aceptación: 25 de octubre 2009.



* Teoría de la Repulsión de Pares Electrónicos de Valencia

Figura 1. Nivel de profundidad y jerarquización de conceptos del curso.

deración de las ideas previas o concepciones alternativas de los estudiantes sino también las estrategias de razonamiento subyacentes a ellas (Campanario y Otero, 2000).

En línea con estas ideas y en busca del origen de las dificultades detectadas en nuestros alumnos universitarios, nos preguntamos qué instrucción en el tema recibieron en la escuela media, con qué conocimientos llegan a nuestro curso de química y qué organización cognitiva del tema adquirieron en el nivel educativo previo.

En este trabajo presentamos el test diseñado para responder a los interrogantes planteados, los resultados obtenidos luego de su aplicación en estudiantes del nivel medio y el análisis realizado.

Metodología

El análisis de las respuestas al test (Apéndice) se realizó a través de un abordaje multiestratégico consistente en una triangulación intermetodológica y de niveles combinados (Dezin, 1970; Taylor y Bodgan, 1996).

La triangulación intermetodológica se logró por medio de dos análisis, uno de los cuales es el estudio de cada una de las respuestas de los alumnos en forma individual y conjunta (Resultados: Sección a), y el segundo es mediante la aplicación de la Teoría del Espacio del Conocimiento (TEC) (Taagepera y Noori, 2000; Taagepera *et al.*, 2002) (Resultados:

Sección b). Ambos estudios se complementan en relación con la interpretación de las estrategias de razonamiento utilizadas por los alumnos.

Para conocer la organización cognitiva nos basamos en la TEC. En esta teoría las respuestas de los estudiantes a un test, cuyas preguntas están basadas en un principio organizador de conceptos de complejidad creciente, son usadas para definir la estructura del conocimiento. Una vez establecida la conectividad de las respuestas referidas a conceptos jerárquicamente relacionados, es posible interpretar sus estrategias de razonamiento o incluso la ausencia de las mismas. El principio organizador utilizado se infiere de la figura 1, por el cual el conocimiento de la estructura electrónica de los átomos permite explicar las propiedades de los elementos, la naturaleza de las sustancias formadas por ellos, predecir la geometría molecular, la interacción tipo dipolo-dipolo, la interacción de London y el enlace de hidrógeno, que dan cuenta de las propiedades físicas observadas.

El test presentado en este trabajo, de tipo cerrado con siete ítems, de los cuales seis comprenden diferentes apartados, ha sido diseñado considerando los contenidos desarrollados en nuestro curso universitario, y a través de los ejemplos elegidos se ha tratado de adecuar a los contenidos de la escuela media.

Dadas las características de los ítems del presente test y el criterio de corrección requerido por la TEC, se obtiene más información acerca de las estrategias de razonamiento utilizadas por los alumnos, a partir del análisis pormenorizado de las respuestas a cada uno de los apartados considerados en cada ítem y su comparación entre ítems jerárquicamente relacionados. Este tipo de triangulación permite verificar la confiabilidad del test.

La triangulación de nivel combinado se realiza involucrando a otras unidades de análisis, en este caso a través de entrevistas a los docentes de los alumnos evaluados (Resultados: Sección c), a fin de reconocer posibles obstáculos en la enseñanza y aprendizaje del tema que complementen y/o convaliden la aportación proveniente de la triangulación intermetodológica.

La muestra seleccionada se compone de 141 alumnos de los dos últimos años de la escuela media, cuyas edades oscilan entre 16 y 18 años, provenientes de ocho cursos de colegios privados de la Ciudad Autónoma de Buenos Aires y conurbano, dado que un estudio previo a la selección de la muestra reveló que en los colegios públicos no se desarrolla generalmente el tema objeto de estudio. El interés en esta muestra reside en que el porcentaje de nuestros alumnos que proviene de colegios privados fue aumentando en los últimos años y al momento del presente estudio aproximadamente el 52% de la población del curso de Química de nuestra institución provenía de dichos establecimientos educativos.

El test se administró a mediados del año escolar una vez concluido el tema objeto de estudio y fue pasado por los docentes a cargo de los respectivos cursos seleccionados que recibieron la instrucción de hacerlo sin tabla periódica. Sin

embargo, en algunos cursos esta consigna no se cumplió, pero como se verá más adelante, no afectó a los resultados.

Resultados

En las secciones (a) y (b) se exponen los resultados del análisis que conducen a la triangulación intermetodológica y en la sección (c), los provenientes de la triangulación de niveles combinados.

a) Análisis de las respuestas

El análisis de los porcentajes de respuestas correctas para cada ítem se muestra en la figura 2. Para la aplicación de la TEC es necesaria la corrección dicotómica de las respuestas, correctas o incorrectas. La respuesta se consideró correcta cuando todos los apartados del ítem fueron bien respondidos. Con este criterio se puede desestimar la probabilidad de acierto por azar en todos los ítems excepto en el último, pues éste sólo admite una única respuesta.

En los primeros tres ítems se observa que los porcentajes de respuestas correctas son elevados y, teniendo en cuenta el criterio de corrección, podemos considerar que los conocimientos de configuraciones electrónicas, tabla periódica y energía de ionización no presentaron dificultades demasiado importantes. En el resto de los ítems con menor proporción de aciertos realizamos un análisis más detallado que sigue a continuación.

Análisis del ítem 4

Este ítem contempla dos conceptos: tipo de unión y geometría. En vista de que el 55% del alumnado reconoció correctamente el tipo de unión, el obstáculo radica en la geometría de la molécula.

A través de la entrevista realizada a los docentes, sabemos que sólo el 64% de los alumnos evaluados recibieron instrucción sobre la Teoría de Repulsión de Pares Electrónicos de Valencia (TRePEV). A los restantes alumnos se les introdujo en el tema fuerzas intermoleculares mediante la consideración de factores que influyen en la polaridad de una molécula, como la diferencia de electronegatividades de los átomos involucrados en las uniones y la distribución de cargas en la molécula.

Para indagar acerca de los errores cometidos analizamos, a manera de ejemplo representativo, las respuestas a la geometría de la molécula del amoníaco de los alumnos que conocían TRePEV (figura 3).

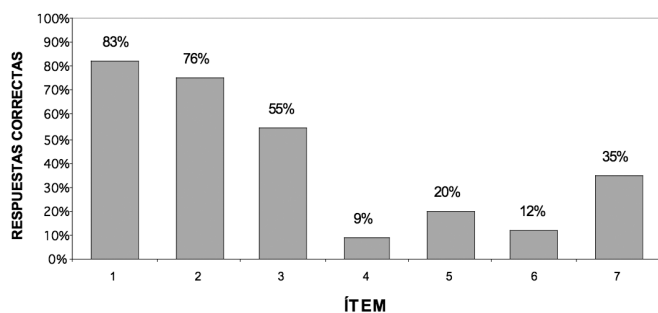


Figura 2. Respuestas correctas al test (corrección dicotómica).

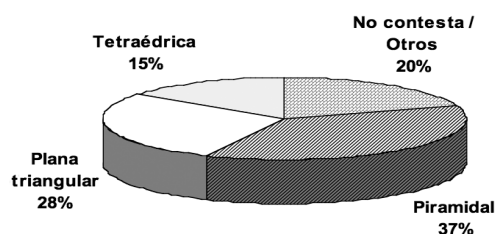


Figura 3. Análisis de la geometría del amoníaco.

La causa de las dificultades para estos alumnos sea probablemente una fijación funcional a la geometría electrónica. Para el 28% que consideró que la geometría es plana triangular la dificultad puede deberse a una fijación funcional a la estructura de Lewis. La fijación funcional consiste en el aprendizaje memorístico de relaciones, conceptos, reglas, que impiden la resolución adecuada de situaciones problemáticas (Furió *et al.*, 2000).

El 15% de los alumnos respondieron que la geometría es tetraédrica. La causa de las dificultades para estos alumnos sea probablemente una fijación funcional a la geometría electrónica. Para el 28% que consideró que la geometría es plana triangular la dificultad puede deberse a una fijación funcional a la estructura de Lewis. La fijación funcional consiste en el aprendizaje memorístico de relaciones, conceptos, reglas, que impiden la resolución adecuada de situaciones problemáticas (Furió *et al.*, 2000).

Análisis del ítem 5

En la figura 4 se muestra el porcentaje de respuestas correctas en la asignación del momento dipolar para cada una de las sustancias. Aproximadamente el 50% de los alumnos reconocieron al menos la polaridad de alguna de ellas, pero sólo el 20% pudo asignar correctamente la polaridad de todas (figura 2, ítem 5). El rendimiento de los alumnos por molécula no fue el mismo (Test de Cochran, $p < 0,0001$). El test de McNemar unilateral comparando las sustancias de a pares, con $p < 0,001$, reveló que los porcentajes de respuestas correctas para amoníaco y agua resultaron mayores que en el resto de las sustancias, sin diferencias significativas entre ellos.

El bajo porcentaje de respuestas correctas al ítem 5 (20%, figura 2) puede adjudicarse a una reducción funcional, definida como una forma de razonamiento espontánea al igual que la fijación funcional, por la cual los alumnos tienden, en este caso, a reducir los factores de los que depende la polaridad de

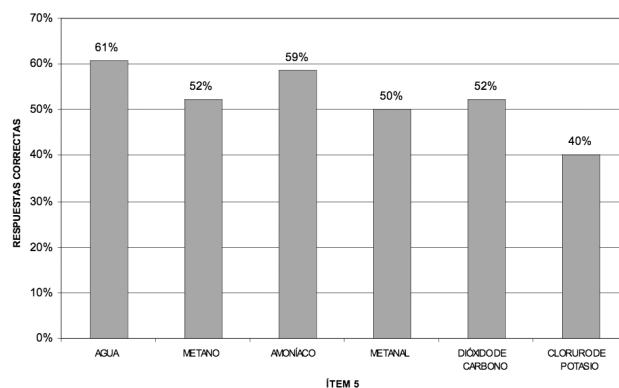


Figura 4. Momentos dipolares.

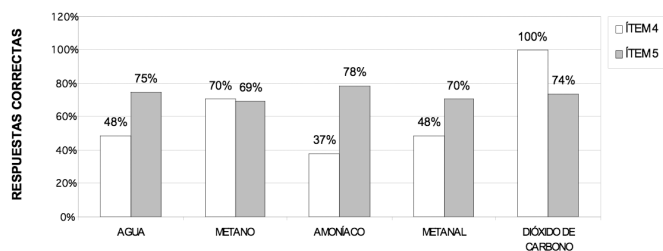


Figura 5. Geometría molecular y momentos dipolares (instrucción TRePEV).

las moléculas. Aunque la polaridad de las moléculas es función de la polaridad de los enlaces y de la geometría, parecería que los alumnos sólo consideraron una de ellas. Prueba de ello es que sólo el 52 % de los alumnos respondieron correctamente la polaridad del CO_2 a pesar de que su geometría es informada en el test (ítem 4) a manera de ejemplo. A su vez el análisis conjunto de las respuestas de los alumnos que recibieron instrucción sobre TRePEV a la geometría molecular (ítem 4) y a los momentos dipolares (ítem 5) también da cuenta de ello. El porcentaje de alumnos que respondieron correctamente la geometría de una molécula es menor que el de aquellos que respondieron correctamente el momento dipolar de la misma (figura 5). Una posible interpretación es que los alumnos consideren que la polaridad molecular depende solamente de la polaridad de uno de los enlaces de la molécula, lo que ha sido llamado específicamente “reducción funcional de enlace” (Furió y Calatayud, 2000).

Análisis del ítem 6

El análisis de este ítem, discriminado por sustancia y tipo de fuerza intermolecular, reveló que un alto porcentaje de alumnos realizaron la asignación de sólo una fuerza (figura 6).

En el caso del agua un porcentaje elevado (79 %) reconoció el enlace de hidrógeno, pero aproximadamente un tercio (33 %) asignó sólo interacción de London y/o interacción dipolo-dipolo. Detectamos un comportamiento semejante en el tratamiento de las otras sustancias.

El rendimiento de los alumnos por sustancia, teniendo en cuenta todas las interacciones presentes, no fue el mismo (Test de Cochran, $p < 0,0001$). La comparación de las sustancias

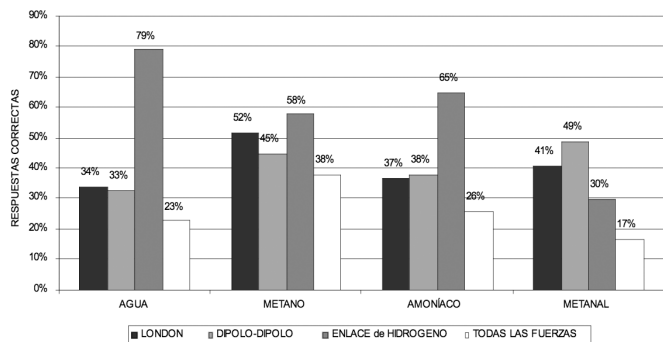


Figura 6. Fuerzas intermoleculares.

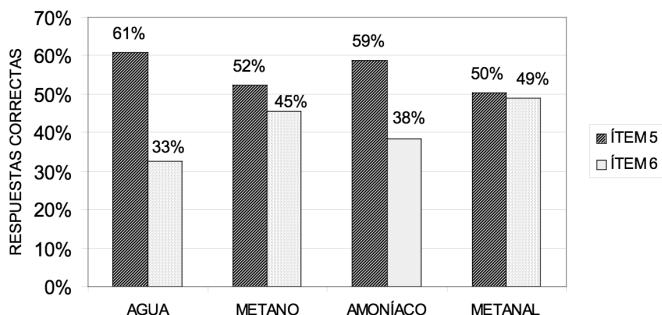


Figura 7. Momento dipolar y fuerzas dipolo-dipolo.

de a pares (Test de Mc Nemar unilateral, $p < 0,001$) nos permite afirmar que la proporción de respuestas correctas en el metano fue mayor que en el resto; el amoníaco tuvo mayor proporción de respuestas correctas que el metanal y no hubo diferencias significativas entre los pares de sustancias restantes.

Los bajos porcentajes de respuestas correctas para todas las interacciones en cada molécula pueden atribuirse a un aprendizaje memorístico y al desconocimiento de las variables involucradas en cada una de las interacciones. Evidencia de ello, en el caso de la interacción dipolo-dipolo, resulta del análisis conjunto de las respuestas al momento dipolar (ítem 5) y a la interacción dipolo-dipolo (ítem 6) como se ve en el figura 7.

Observamos para el agua y el amoníaco una notable diferencia en los porcentajes de respuestas correctas; en cambio, en el metanal la diferencia es mínima. Si se considera que el metanal es la única sustancia que se presenta en el test con su fórmula semidesarrollada, donde es claramente visible la presencia del grupo carbonilo, es probable que los alumnos que asocian la polaridad de la molécula a la presencia de un enlace polar (reducción funcional de enlace), no tengan dudas en este caso en la asignación de la interacción dipolo-dipolo.

b) Camino crítico del conocimiento

La figura 8 representa el camino propuesto por los expertos que surge de la figura 1 presentada en la Introducción y cuya fundamentación es precisada en la Metodología. La secuencia de conceptos jerárquicamente relacionados, numerados de 1 a 7, se corresponden con los siete ítems del test desarrollado.

En la figura 9 se muestra el camino crítico obtenido con la muestra escogida aplicando la TEC. En dicho camino se representa cómo se conectan los estados de respuesta, éstos entendidos como el conjunto de respuestas correctas e incorrectas de un grupo de alumnos que responden el mismo número de ítems de los siete ítems del test. Se adjudica el número 1 a las respuestas correctas y el 0 a las incorrectas. Estos estados se relacionan entre sí de manera que cada estado del conoci-

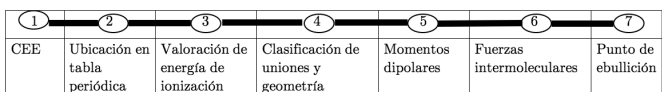


Figura 8. Secuencia de conceptos jerárquicamente relacionados.

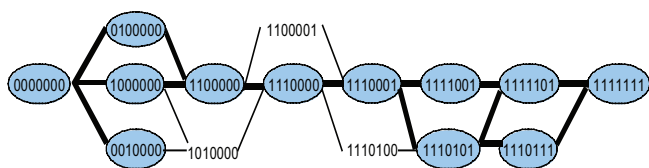


Figura 9. Camino crítico al aplicar la TEC.

miento tiene las mismas respuestas que el estado anterior más una nueva (condición de secuencia). Los estados destacados con un óvalo son los más poblados. La mayoría de los alumnos respondieron bien entre uno y cuatro ítems. Los estados con más ítems correctos están menos poblados.

El análisis detallado del camino reveló que:

1. Un grupo de alumnos fue capaz de responder correctamente el ítem 7, que corresponde a seleccionar la sustancia de mayor punto de ebullición, sin haber podido responder correctamente desde el ítem 2 o 3 en adelante. Si se tiene en cuenta que el ítem 7 es el único que requiere una sola respuesta, consideramos que en este caso el acierto fue por azar. Pensamos que este inconveniente podría haberse superado solicitando en el test la justificación de la respuesta elegida.
2. Otro grupo de alumnos pudo responder correctamente la polaridad de un conjunto de moléculas (ítem 5) pero no así la geometría molecular de las mismas (ítem 4). Aunque es probable que en las moléculas consideradas ejemplos “clásicos” al abordar el tema, la respuesta a la polaridad haya sido memorística, en el caso del metanal (probablemente no trabajada en clase), de la cual se proporciona en el test la fórmula desarrollada, la asignación correcta de la polaridad puede adjudicarse a una reducción funcional de enlace (Resultados: Sección a) más que al azar.
3. Los alumnos que no siguieron la línea propuesta por los expertos, también pudieron elegir correctamente la sustancia de mayor punto de ebullición (ítem 7) sin haber podido previamente reconocer las fuerzas intermoleculares actuantes en otras sustancias (ítem 6), la mayoría de las cuales se analizan en los cursos.

Es conveniente aclarar que estos resultados obtenidos a partir del análisis de la conectividad de las respuestas de los alumnos no pueden inferirse del simple análisis de los porcentajes de respuestas correctas a cada ítem (Resultados: Sección b).

El análisis precedente nos lleva a concluir que no se da un aprendizaje significativo, pues los caminos tomados por los alumnos no pueden ser justificados más allá del aprendizaje memorístico o casual.

c) Entrevista a los docentes

La necesidad de entrevistar a los docentes de los alumnos evaluados surgió de los resultados obtenidos de la triangulación intermetodológica.

Las entrevistas fueron realizadas a los docentes que estuvieron a cargo de los ocho cursos de los diferentes estableci-

mientos educativos seleccionados cuyos alumnos respondieron el test.

El instrumento utilizado para la recolección de datos en las entrevistas fue del tipo semiestructurado, en el cual la técnica para obtener la información de un sujeto determinado se efectúa a partir de un formulario previamente preparado. En el mismo se plantearon las siguientes tres preguntas que actuaron a modo de guía a fin de permitir que el entrevistado se exprese libremente según sus propias categorizaciones y teorías:

1. ¿Qué interacciones entre moléculas pueden reconocer los alumnos y a través de qué conocimientos?
2. De acuerdo con los porcentajes obtenidos, un importante número de alumnos reconoce correctamente la polaridad del amoníaco. ¿Cómo lo saben? ¿Existe la posibilidad de que los alumnos confundan la polaridad del enlace con la polaridad de la molécula?
3. ¿Cuáles son las limitaciones que a su juicio obstaculizan la comprensión del tema?

Las respuestas de los docentes se registraron en forma manuscrita en el momento de la entrevista.

Las distintas aportaciones recogidas conducen mayormente a respuestas coincidentes que se resumen a continuación:

- Se analizan en el aula las fuerzas que prevalecen al intentar explicar las propiedades macroscópicas observadas. Esto explica las respuestas de los alumnos que asociaron el enlace de hidrógeno como una única fuerza presente tanto entre las moléculas de agua como entre las de amoníaco.
- La polaridad de enlace se utiliza de manera recurrente y desde un enfoque microscópico y la polaridad de las sustancias desde una óptica empírica, por lo que los alumnos no llegan a establecer la relación entre ellas confundiendo finalmente la polaridad de enlace con la polaridad molecular.

En cuanto a las limitaciones que obstaculizan la comprensión del tema señalaron:

- La dificultad de los alumnos para reconocer y visualizar cuerpos geométricos en el espacio.
- La carencia del concepto de magnitudes vectoriales en este nivel de educación.

Ambas limitaciones, también presentes en nuestros alumnos de primer año de estudios universitarios, dan cuenta del aprendizaje no significativo de los conceptos como geometría y polaridad molecular, evidenciado tanto en el análisis individual de las respuestas como en el camino crítico del conocimiento, necesarios para la predicción de propiedades físicas basada en las fuerzas intermoleculares.

Los datos recogidos en las entrevistas complementaron los obtenidos a partir del camino crítico y el análisis desglosado de respuestas (triangulación intermetodológica).

Conclusiones

El estudio realizado nos permitió responder los interrogantes

planteados y comprender el origen de algunas dificultades detectadas en nuestros alumnos universitarios.

- Con respecto a la instrucción en el tema recibida por la muestra escogida de la escuela media, la misma se circunscribe al análisis de las fuerzas intermoleculares que prevalecen al intentar explicar las propiedades físicas observadas.
- Los alumnos encuestados conocen en general los conceptos involucrados en el tema desde el lenguaje pero en su gran mayoría no pueden aplicarlos correctamente. Una dificultad notoria es el fracaso en el reconocimiento de la geometría molecular, que al decir de los docentes entrevistados, es debida fundamentalmente a la carencia de una visión adecuada del espacio tridimensional, que debería actuar como anclaje para su aprendizaje significativo.
- La organización cognitiva de los alumnos encuestados, plasmada en el camino crítico del conocimiento (Resultados: Sección b) evidencia razonamientos espontáneos y/o superficiales, heurísticos propios de los alumnos (Talanquer, 2006) o inducidos por los docentes, entre ellos los denominados fijaciones y reducciones funcionales.

La simplificación realizada en la enseñanza del tema al considerar solamente las fuerzas que prevalecen, según lo han manifestado los docentes entrevistados del nivel medio y ha sido evidenciada por el elevado porcentaje obtenido en el reconocimiento del enlace de hidrógeno en el agua y el amoníaco, pero notablemente inferior en las restantes fuerzas actuantes, nos lleva a pensar que la problemática detectada en nuestros alumnos universitarios se debe a la creencia de que el enlace hidrógeno prevalece siempre. Esta concepción alternativa, no mencionada aun en la bibliografía, sería reforzada por los ejemplos sencillos inorgánicos analizados generalmente al iniciar el desarrollo del tema también en nuestro curso universitario.

Sin duda, el análisis de las intensidades relativas de las distintas fuerzas resulta complejo para los alumnos dada la multiplicidad de variables involucradas y tratarán de evitarlo si lo consideran innecesario. Podemos pensar que una consecuencia de la concepción alternativa citada es que bloquea la utilización de estrategias de razonamiento adecuadas para un análisis multivariable transformándose en un obstáculo epistemológico (Bachelard, 1974). Por esta razón sugerimos, al abordar el tema en un nivel introductorio, no inducir a los alumnos a construir generalizaciones a partir de ejemplos sencillos como agua, amoníaco, fluorhídrico, que puedan actuar como obstáculos epistemológicos.

Otra simplificación realizada por nuestros alumnos universitarios al intentar explicar, comparar o predecir alguna propiedad física para un conjunto de distintas sustancias, es la de considerar exclusivamente el número de fuerzas y no la intensidad relativa de las mismas. Esta simplificación también tendría origen en la preponderancia asignada en los cursos introductorios a la interacción por enlace de hidrógeno. Si bien en moléculas pequeñas de tamaño comparable, el efecto de tres fuerzas, una de las cuales es enlace de hidrógeno, es

mayor que el efecto de dos fuerzas que no incluyen enlace de hidrógeno, puede no resultar así en moléculas más complejas, en las que los factores estéricos pueden disminuir la intensidad de dicha interacción (Torres *et al.*, 2005).

Agradecimientos

Este trabajo se realizó en el marco del proyecto de investigación "Estudio de los obstáculos que dificultan el aprendizaje significativo de la química en un primer curso universitario" financiado por la Secretaría de Ciencia y Técnica de la Universidad de Buenos Aires.

Referencias

- Ausubel, D. P., Novak, J. D. y Hanesian, H., *Educational Psychology*. New York, USA: Holt, Rinehart y Winston, 1978. Trad. Cast. de M. Sandoval: *Psicología Evolutiva*. México: Trillas, 1983.
- Bachelard, G., *La formación del espíritu científico*. Argentina: Siglo XX, 1974.
- Campanario, J. M. y Otero, J. C., Más allá de las ideas previas como dificultades de aprendizaje: Las pautas de pensamiento, las concepciones epistemológicas y las estrategias metacognitivas de los alumnos de ciencias, *Enseñanza de las Ciencias*, 18(2), 155-169, 2000.
- Dezin, N. K., *The research act in sociology: A theoretical introduction to sociological method*. London: The Butterworth Group, 1970.
- Furió, C. y Calatayud Ma. L., Fijación y reducción funcionales como razonamientos de sentido común en el aprendizaje de la Química (II): geometría y polaridad de las moléculas, *Revista de Educación en Ciencias*, 1(2), 93-99, 2000.
- Furió, C., Domínguez, C., Azcona, R. y Guisasola, J., La enseñanza y el aprendizaje del conocimiento químico. En: Perales Palacios, F., Cañal de León, P., *Didáctica de las ciencias experimentales. Teoría y práctica de la enseñanza de las ciencias*. Alcoy, España: Marfil S.A., pp. 421-448, 2000.
- Mammino, L., Empleo del análisis de errores para aclarar conceptos de química general, *Enseñanza de las Ciencias*, 20(1), 167-173, 2002.
- Monteserin, H., Landau, L., Baumgartner, E., Torres, N., Aprendizaje memorístico vs aprendizaje significativo: organización cognitiva del tema fuerzas intermoleculares en alumnos de nivel medio y universitario. *VIII Jornadas de enseñanza de la química* (CD ROM), ISBN 978-950-658-203-6. Argentina: Olavarría, 2008.
- Pozo, J. I., *Teorías cognitivas del aprendizaje*. Madrid, España: Ediciones Morata, S. L. 2ª ed., 1993.
- Taagepera, M., Arasasingham, R., Potter, F., Saroudi, A. y Lam, G., Following the Development of the Bonding Concept Using Knowledge Space Theory, *Journal of Chemical Education*, 79(6), 756-762, 2002.
- Taagepera, M. y Noori, S., Mapping Students' Thinking Patterns in Learning Organic Chemistry by the Use of Knowledge Space Theory, *Journal of Chemical Education*, 77(9), 1224-1229, 2000.

Talanquer, V., Commonsense Chemistry: A Model for Understanding Students' Alternative Conceptions, *Journal of Chemical Education*, 83(5), 811-816, 2006.

Taylor, S. J. y Bodgan, R., *Introducción a los métodos cualitativos de investigación*. Barcelona, España: Paidós, 1996.

Torres, N., Landau, L., Bamonte, E., Di Giacomo, M., Erausquin, P., Fornaso, C. y Monteserín, H., Fuerzas intermoleculares y propiedades físicas de compuestos orgánicos: una estrategia didáctica, *Educ. quím.*, 16(número extraordinario), 129-135, 2005.

APÉNDICE: TEST

1. Indicar si la CEE asignada en cada caso es verdadera (v) o falsa (f).

Elemento	CEE	v/f
₈ O	2s ² 2p ⁴	
₁₇ Cl	3s ² 3p ⁵	
₆ C	1s ² 2p ²	
₁₉ K	3s ¹	
₁ H	1s ¹	
₇ N	2p ⁵	

2. Identificar el grupo, el período y en los casos que corresponda marcar con una cruz si se trata de un metal.

Elemento	Grupo	Período	Metal
C	IV A	2	—
Cl			
O			
K			
H			
N			

- 3.a Completar con una cruz para cada uno de los átomos de los elementos adjuntos la energía de ionización (EI) esperada para el electrón más externo.

Elemento	EI alta	EI baja
O		
Cl		
C		
K		
N		

- 3.b Nombrar el elemento cuyos átomos presentan menor EI
-

4. Completar la tabla, indicando cuando corresponda la geometría.

Sustancia	Iónica	Molecular	Geometría
CO ₂	—	X	lineal
H ₂ O			
CH ₄			
NH ₃			
KCl			
H C = O H			

5. Identificar con una x las sustancias cuyas moléculas presentan momento dipolar.

Sustancia	Momento dipolar
CO ₂	
H ₂ O	
CH ₄	
NH ₃	
KCl	
H C = O H	

6. Indicar en la tabla todas las fuerzas intermoleculares presentes:

Sustancia	London	Dipolo-dipolo	Enlace de hidrógeno
CO ₂	X	—	—
H ₂ O			
CH ₄			
NH ₃			
H C = O H			

7. Seleccionar en la terna (marcando con una cruz) la sustancia que espera que presente el mayor punto de ebullición:

CH₄ CCl₄ Cl₄