

LA CONSTRUCCIÓN DE NOCIONES BÁSICAS DE QUÍMICA EN CIENCIAS AGROPECUARIAS: EL CASO DE «EFECTOS ELECTRÓNICOS EN LAS MOLÉCULAS»

MADOERY, R.; MÖLLER, M. A.; PEME-ARANEGA, C.; BENITO, M.; MESTRALLET, M.; ROMERO, C. y CADILE, S.

Facultad de Ciencias Agropecuarias. Universidad Nacional de Córdoba.
Ciudad Universitaria. C.C 509 (5000) Córdoba. Argentina.
rmadoery@agro.uncor.edu

Resumen. La comprensión de la relación estructura-propiedades es fundamental en el estudio de química en las ciencias agropecuarias. En ese sentido y a partir de las dificultades observadas en los alumnos para la aplicación de ese núcleo conceptual, se identificó la noción básica *efectos electrónicos en las moléculas* y se planteó la investigación de su construcción conceptual. Se utilizaron en este estudio dos instrumentos metodológicos: cuestionario y entrevista semiestructurada con modalidad clínica. Se detectaron ciertos obstáculos epistemológicos en la argumentación de los alumnos. Éstos fueron: la tendencia a la generalización, el empirismo inmediato y los modelos simplistas, que actuarían bloqueando el pensamiento profundo. Concluimos que el aprendizaje de la noción *efectos electrónicos en las moléculas* requiere del despliegue de toda su complejidad epistemológica.

Palabras clave. Estructura molecular, propiedades, relación, concepto, construcción.

Summary. The understanding of the structure-properties relation is of great importance in the chemistry study in Agricultural Sciences. In this sense, starting from the difficulties found in students when applying this conceptual nucleus, we identified the basic notion *molecular electronic effects* and proposed the research of its conceptual construction. In this study, two methodologies were applied: questionnaire and clinical semi-structured interview. The answers and the arguments of the students showed certain epistemological obstacles. These were: the tendency to generalization, the immediate empiricism and the simplistic models that would act blocking the profound thoughts. We concluded that the learning of the notion: *molecular electronic effects* needs to display its overall epistemological complexity.

Keywords. Molecular structure, properties, relation, concept, construction.

INTRODUCCIÓN

La química como disciplina básica es uno de los pilares que sostiene la estructura de planes de estudio en las ciencias naturales. En ese contexto, el estudio profundo de la relación entre la estructura y las propiedades físicas, químicas, fisicoquímicas y biológicas de las biomoléculas requiere de una integración de disciplinas. Así, las fronteras entre disciplinas tienden a desaparecer porque las estructuras conceptuales son, o bien comunes, tal es el caso de física y química, o bien solidarias: biología y fisicoquímica (Piaget y García, 1991).

El problema objeto de investigación en este proyecto se desprende de una problemática mayor relacionada con la dificultad para enseñar química en carreras universitarias en las que el objetivo no es, específicamente, formar técnicos o investigadores químicos. En ese marco, se observan dificultades en los alumnos de la carrera de

Ingeniería Agronómica para el manejo de conceptos básicos de la química. Uno de ellos, *efectos electrónicos en las moléculas*, es esencial para el tratamiento de la relación *estructura-propiedades* y fue seleccionado por su influencia decisiva en la predicción de las propiedades de los compuestos químicos. La comprensión de la relación *estructura-propiedades* permite al alumno de ciencias agropecuarias manejar con fundamentos científicos los procesos biológicos involucrados en los sistemas productivos e intervenir en ellos.

La hipótesis de trabajo que guió esta investigación fue: la adquisición de nuevos significados en el contexto de la relación estructura-propiedades depende de las relaciones establecidas entre los conceptos *efectos electrónicos* e *interacciones moleculares*; estas relaciones dan lugar a distintos niveles de explicación.

FUNDAMENTOS TEÓRICOS

En este proyecto, la psicología genética, la epistemología y la didáctica de la química proporcionaron el sustento teórico para la aproximación a las conceptualizaciones de los alumnos en este dominio específico y a algunos de los mecanismos dinámicos de su construcción.

Desde una perspectiva epistemológica psicogenética (Piaget y García, 1991) resulta importante distinguir las *estructuras operatorias*, aquéllas con las que un sujeto opera a cualquier nivel, de las *estructuras objetivadas* correspondientes, formuladas específicamente por el pensamiento matemático formal, científico o precientífico.

Desde el punto de vista de la psicología y la epistemología genética (Piaget, 1979; García, 1997), la *explicación* puede ser definida como una *asimilación* (en el sentido restringido de asimilación cognitiva) adecuada de estructuras objetivadas. La explicación (etimológicamente: «explicitar, extender el dominio que concierne») exige una toma de conciencia sobre la estructura del objeto (Henriques, 1970) y eventualmente de las relaciones interestructurales. Si consideramos que explicar es responder a la pregunta «¿por qué?», veremos que lo explicativo en un modelo son las relaciones estructurales entre los conceptos. En el capítulo «Historia de las explicaciones en física» (Piaget, 1977), Halbwachs encuentra tres tipos elementales de explicación:

- Explicación *heterogénea* o causal, consistente en hacer intervenir la acción del mundo exterior sobre el sistema («la causa produce el efecto», siguiendo una ley determinada).
- Explicación *homogénea*: la explicación es interna al sistema. La explicación en este nivel puede ser una simple descripción de los fenómenos.
- Explicación *batígena* (del griego *bathus*, profundo): avanza hasta los niveles más profundos y trabaja con las estructuras subyacentes.

Al procederse a su descripción, la trama conceptual de la noción *efectos electrónicos en las moléculas* puso de manifiesto su complejidad epistemológica (Möller et al., 2000; Benito et al., 2000). A partir del conocimiento y estudio de la *estructura* atómica y molecular es posible analizar los *efectos electrónicos* presentes y en qué medida los desplazamientos de nube electrónica dan lugar a dichos efectos (Gould, 1967). Así, desde la *estructura* y con el concepto de *electronegatividad* (Jensen, 1996) es posible avanzar hacia *polaridad de enlace* y, además, teniendo presente *hibridación* y *geometría molecular*, definir *polaridad molecular* (Furió y Calatayud, 1996). La polaridad molecular permite avanzar sobre el análisis de tipos de *fuerzas de atracción*, discusión íntimamente relacionada con el tratamiento de un concepto químico más amplio, que es *interacción*, entendiéndolo por tal la influencia recíproca entre moléculas o entre grupos de una misma molécula (Frieden, 1975). Finalmente, a partir del análisis de los *efectos electrónicos* y de las *interacciones moleculares* es posible la predicción de

propiedades físicas, químicas y fisicoquímicas de los compuestos químicos (Morrison y Boyd, 1998) e, incluso, discutir acerca de su funcionalidad biológica.

OBJETIVOS

Los objetivos de este estudio fueron:

- Analizar, desde una visión constructivista, las interpretaciones de los alumnos en torno al concepto *efectos electrónicos en las moléculas* como núcleo básico de la relación «estructura-propiedades».
- Identificar los tipos de explicaciones elaboradas por los alumnos y caracterizarlas en relación con el problema planteado.
- Analizar, desde una perspectiva psicogenética, la relación entre los problemas epistemológicos que plantea la explicación química y las distintas conceptualizaciones que expresan los alumnos.

METODOLOGÍA

Inicialmente, se determinaron los conceptos estructurantes (Gagliardi, 1986, 1988) relacionados con la noción investigada y se describió la trama conceptual que los involucra (Möller et al., 2000; Benito et al., 2000). Luego se trabajó en los procedimientos e instrumentos que permitieran acceder a las conceptualizaciones de los alumnos y se elaboraron las categorías de análisis para la interpretación de las respuestas.

Con el propósito de triangular (Denzin, 1978) la información obtenida se emplearon dos instrumentos metodológicos: cuestionario y entrevista semiestructurada con modalidad clínica.

Cuestionario

Se trabajó con un grupo de 13 alumnos, de un número mayor que cursó materias de química durante el año 1999 en la Facultad de Ciencias Agropecuarias (Universidad Nacional de Córdoba). Se utilizó como instrumento un cuestionario semiestructurado conformado por diez preguntas, que abarcaron algunos conceptos claves en este estudio; los cuales son: electronegatividad, enlace, geometría, hibridación, efecto inductivo, polaridad molecular, fuerza de atracción, interacción, efecto de resonancia y propiedades.

- 1) ¿Por qué el flúor es el elemento de la tabla periódica que tiene mayor capacidad para atraer electrones?
- 2) ¿Qué clase de unión resulta de la combinación entre el elemento carbono y el elemento cloro?
- 3) Tanto el agua como el dióxido de carbono poseen enlaces polares.

¿Por qué la molécula de agua es polar y la de dióxido de carbono es apolar?

4) ¿Cómo explica que en las moléculas orgánicas el carbono establece 4 enlaces covalentes, cuando cuenta con sólo 2 electrones desapareados?

5) Si se une un átomo de carbono con un átomo de oxígeno, ¿hacia dónde se desplaza la nube electrónica en el enlace?

6) Dados los siguientes ácidos carboxílicos: ácido acético (C2), ácido butírico (C4) y ácido palmítico (C16), ordénelos en orden decreciente de polaridad.

7) ¿Por qué la atracción entre moléculas de agua es mucho más intensa que la atracción entre moléculas de un hidrocarburo como metano (CH₄)?

8) Una interacción es una influencia recíproca entre moléculas o entre grupos. En base a esto, ¿cómo explica que el agua no se puede mezclar con el aceite?

9) ¿Cómo explica el carácter ácido del hidroxilo fenólico?

10) La naturaleza alcalina de los suelos calcáreos se relaciona fundamentalmente con un elevado contenido de carbonatos. Los siguientes pesticidas (A, B y C) poseen una matriz común representada por R y se distinguen por los siguientes grupos funcionales unidos a dicha matriz:

A	B	C
R CONH ₂	R COOH	R COOR

Los tres compuestos tienen acción específica sobre la plaga XX. Por otra parte, se conoce que el máximo poder pesticida se consigue cuando la molécula se encuentra ionizada. En función del tipo de suelo, ¿qué pesticida aplicaría y por qué?

Se realizó un análisis de las respuestas considerando dos variables: a) el conocimiento químico actualmente aceptado; y b) el tipo de razonamiento empleado por el alumno tal como se infiere de su respuesta. Desde estas perspectivas, se elaboró una tabla de doble entrada. En el caso de la primera variable se establecieron tres categorías: *correcta*, *correcta parcial* e *incorrecta*. Y con relación a la segunda variable se definieron cuatro categorías: *causalidad*, *asociación*, *comparación* e *información*.

Se analizaron, para cada una de las preguntas, la información química o el tipo de relaciones entre los conceptos que requería (Ejemplos en anexo: preguntas 3 y 8).

Entrevista

De la población de alumnos que habían aprobado Química General e Inorgánica y Química Orgánica y que no mantenía relación alguna de evaluación pendiente con sus profesores se seleccionaron al azar 10 estudiantes. Se realizó en cada caso una indagación clínica utilizando, como instrumento metodológico, la entrevista semiestructurada con modalidad clínica (Castorina et al., 1985).

En cuanto al tipo de procedimientos de registro de datos, se utilizaron «sistemas tecnológicos» (Evertson y Green,

1986; trad. cast., 1989): en nuestro caso, grabación fonográfica y desgrabación con registro escrito. Para la entrevista se elaboraron situaciones que incluían el tratamiento de los conceptos abordados y se formularon algunos interrogantes que supuestamente permitirían el despliegue del pensamiento de los alumnos en relación con la trama conceptual que se investiga.

El problema planteado fue la *homogeneidad aparente de la leche*. La explicación de la homogeneidad macroscópica de la leche se basa precisamente en las interacciones en las que participan compuestos como proteínas y fosfolípidos que, por tener partes polares y apolares en su estructura molecular, pueden actuar de nexo o puente entre lo hidrofílico y lo lipofílico.

Así, se plantearon las siguientes preguntas:

1) ¿Has visto lo que sucede cuando se agrega agua al aceite?

2) ¿Has intentado mezclarlos? ¿Qué observaste?

3) Ahora vamos hablar de un alimento: la leche (que, como sabes, contiene carbohidratos, lípidos, proteínas, minerales y agua...). ¿Cómo explicarías, entonces, que la leche que consumimos, a pesar de tener agua y lípidos, se nos presenta homogénea a la vista?

Se constituyeron tres parejas de entrevistadores (cada una de ellas integrada por un químico y un pedagogo, lo cual enriqueció el diálogo). La exploración crítica de las respuestas tuvo como propósito comprender los modos de pensar de los alumnos frente a esos problemas, identificando la movilidad o las dificultades de sus razonamientos. Se realizó una interpretación cualitativa, sin categorías previas del registro de las entrevistas desgrabadas.

Finalmente, se triangularon (Denzin, 1978) los resultados de los datos obtenidos mediante el cuestionario y la entrevista.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Cuestionarios

Análisis de las respuestas

El mayor número de respuestas correctas se registró en la pregunta 5 (referida al concepto *efecto inductivo*). En este caso, la respuesta correcta implica manejo de información básica de electronegatividad. El mayor número de respuestas correctas parciales tuvo lugar en la pregunta 2 (referida al concepto de *enlace*), cuya respuesta implica relación de causalidad entre electronegatividad y enlace. Sin embargo, cuando debieron expresar con palabras esa causalidad (como en el caso de la pregunta 1) sus respuestas resultaron tautológicas.

La mayor cantidad de respuestas incorrectas se registró en la pregunta 6 (referida al concepto de *polaridad molecular*). En este caso, la respuesta implica análisis de polaridad en la estructura molecular completa («el

todo») en función de sus «partes»: el grupo funcional y el esqueleto. En la pregunta 1 (referida al concepto *electronegatividad*) no se obtuvo ninguna respuesta correcta. Esto implica que existen dificultades en la comprensión de aspectos relacionados con estructura atómica, de donde se desprende el concepto de *electronegatividad*.

En la pregunta 2 (referida al concepto de *enlace*) se encontraron dificultades en el análisis de las respuestas. Es posible que la formulación de la misma no haya demandado del alumno una mayor profundización en la explicación del concepto *covalente* en el sentido de una identificación entre lo «polar» y lo «apolar».

Las preguntas 3 y 8 resultaron las más fructíferas porque daban lugar a una mayor riqueza de relaciones. Las respuestas de aquellos alumnos que las contestaron correctamente indican que asociaron adecuadamente *polaridad molecular* con *geometría molecular*. Se evidenció que los alumnos establecieron una relación causal entre los conceptos de *electronegatividad* y *enlace* pero no alcanzaron a explicar dicha relación. Probablemente, los estudiantes utilizaron el concepto de *electronegatividad* porque contaban con información acerca del mismo, pero no consiguieron asociarlo con un concepto más abstracto como es el de *estructura atómica*. Entrarían en juego aquí consideraciones acerca del origen y epistemología de aquel concepto (Jensen, 1996). En coincidencia con lo observado por otros autores (Furió y Calatayud, 1996), se encontró que la mayoría de los alumnos denotaron deficiencias al relacionar *polaridad molecular* con *geometría molecular*. Por otra parte, establecieron una relación parcial entre los conceptos de *polaridad* y *fuerzas de atracción*, cuando se requería el planteo de relaciones de causalidad, asociación y comparación.

Las preguntas número 3 (concepto: *geometría*), número 7 (concepto: *fuerzas de atracción*) y número 8 (concepto: *interacción*) fueron seleccionadas por su relevancia conceptual y por la riqueza de las respuestas de los alumnos. Se realizó un procesamiento de la información para cada pregunta, obteniéndose los siguientes números de respuestas: «incorrectas», «correctas parciales», «correctas» y «no contesta» para un total de 13 alumnos. (Tabla I)

Comentarios sobre las respuestas al cuestionario

- Se evidenció que los alumnos establecieron algunas relaciones causales entre los conceptos de *electronegatividad* y *enlace*, aunque no alcanzaron a explicar dichas relaciones.

Los estudiantes utilizaron el concepto de *electronegatividad*, pero no lograron relacionarlo con un concepto más abstracto como es el de *estructura atómica*. Entrarían en juego aquí, como ya se dijo, consideraciones acerca del origen y la epistemología de aquel concepto (Jensen, 1996).

- En coincidencia con lo observado por otros autores (Furió y Catalayud, 1996) se encontró que en la mayoría de los alumnos se evidenciaron falencias al relacionar *polaridad molecular* con *geometría molecular*.

- Los estudiantes establecieron relaciones parciales entre conceptos de *polaridad* y *fuerzas de atracción*, cuando específicamente se requería el planteo de relaciones de causalidad, asociación y comparación.

- La reflexión del equipo de investigación acerca de las respuestas analizadas llevó al replanteo de algunas preguntas, con el fin de clarificar el alcance de las mismas.

Entrevistas

Pautas para el análisis

En el análisis se consideraron algunos tipos de respuestas posibles:

- a) *Respuestas de desconocimiento*: no sé, no me acuerdo, no contesta...
- b) *Respuestas de pseudoconocimiento*: verbalizaciones vacías de significado.
- c) *Interpretaciones personales*: traduce la noción para darle sentido (asimilaciones deformantes).
- d) *Nociones intuitivas*: sin explicación, descripciones, relaciones entre aspectos parciales.
- e) *Conceptualización*: con explicación, pueden estar presentes distintos niveles de abstracción, observables a partir de los otros conceptos con que la relacione, o al grado de aplicabilidad que le confiere a la noción o a qué contexto la refiere.

Según el tipo de conceptualización esbozada, las respuestas *e* fueron consideradas como: explicación heterogénea, homogénea o batfígena (Anexo).

Tabla I

	Pregunta 3 Geometría	Pregunta 7 Fuerzas de atracción	Pregunta 8 Interacción
Correctas	3	3	1
Correctas parciales	5	7	8
Incorrectas	5	1	3
No contestan	0	2	1

Tabla II

Nivel de conceptualización	Número de entrevistas
Desconocimiento	0
Pseudoconocimiento	0
Interpretaciones personales	1
Nociones intuitivas	1
Conceptualización con distintos niveles de explicación	Total: 8 Explicación heterogénea: 2 Explicación homogénea: 4 Explicación batígena: 2

Cabe aclarar que las respuestas *d* y *e* implican distintos niveles de aproximación al objeto de conocimiento y se procedió a analizar su creciente complejidad.

A partir del análisis de 10 entrevistas y de su categorización en niveles de conceptualización se construyó la tabla II.

Comentarios sobre las entrevistas

El análisis cualitativo de los datos obtenidos de las entrevistas a los alumnos permitió visualizar una tendencia común en la que se pueden discriminar *dos momentos*.

Un primer momento, sería aquél en el cual, la mayoría de los alumnos respondió con verbalizaciones esperadas por los docentes, utilizando el conocimiento académico de manera más o menos completa y arribando a diferentes niveles de explicitación. En ese sentido, si bien pusieron en juego las nociones involucradas (polaridad, hidrofiliidad, lipofiliidad, etc.), no alcanzaron a aplicarlas en profundidad para explicar una situación relativamente nueva. En la argumentación sobre la causa del fenómeno en cuestión, se observaron dificultades en los alumnos para relacionar lo molecular con lo observable. También apareció como un obstáculo el aferrarse a reglas generales («semejante disuelve a semejante») como si fueran verdades absolutas. Lo general como obstáculo epistemológico (Bachelard, 1985) operó bloqueando en alguna medida el pensamiento crítico. En algunos casos, los alumnos señalaron erróneamente, la diferencia de densidad como causa de la separación en dos fases, del sistema agua-aceite. Una hipótesis sería que aplican la observación simple y directa en relación con un hecho físico de menor nivel de abstracción, configurando así otro posible obstáculo epistemológico: el empirismo inmediato (Bachelard, 1985). Por otra parte, los alumnos manejaron una serie de conceptos, pero no lograron conectarlos para dar una respuesta integral a un problema. Estaría prevaleciendo así un conocimiento aislado o unitario (Bachelard, 1985), el cual constituye también un obstáculo epistemológico. En cuanto al conocimiento químico, los alumnos hicieron mayor hincapié en la *interacción* entre compuestos semejantes sin profundizar en la explicación de la *no-interacción* entre compuestos disímiles.

En la mayoría de las entrevistas se verificó un segundo momento en el que los alumnos se involucraron más profundamente en el problema y comenzaron a poner en juego sus propias hipótesis, produciéndose aquí otro tipo de explicaciones, generalmente parciales, pero más auténticas desde el punto de vista del sujeto-alumno. En este segundo momento, los estudiantes entrevistados esbozaron algunas ideas propias de menor rigor académico y, a veces, contradictorias sobre el objeto del problema. De todos modos, sólo aquellos alumnos que «visualizaron» adecuadamente los desplazamientos de nube electrónica en las moléculas fueron capaces de elaborar explicaciones profundas sobre los fenómenos de interacción molecular involucrados en la temática planteada.

Del análisis de la información obtenida mediante las entrevistas surgen las siguientes **conclusiones**:

- Cuando los alumnos intentan explicar los cambios aparentes, recuperan ciertas explicaciones concretas, pero de corto alcance. El dato empírico, lo experiencial, si bien en ocasiones parece facilitar o dar mayor seguridad a la explicación, no puede ser recuperado en una explicación de más largo alcance y termina bloqueándola.

Las explicaciones más abstractas y complejas son difícilmente recuperadas por los alumnos y no se observa coherencia ni congruencia entre unas y otras. Observamos que confunden:

- los límites de los sistemas (macro / micro);
- los principios puestos en juego.

Debe recordarse que toda noción nueva debe equilibrarse con otras y que, para ello, se requiere todo un juego de regulaciones y composiciones para llegar a la coherencia en un juego de equilibraciones progresivas.

- La explicación simplista, a la que recurre a veces el docente, en la medida que no llega a la complejidad epistemológica de la noción tratada, no permite al alumno desplegar el proceso constructivo necesario para abordarla. Se corre el riesgo de considerar sencilla una noción que, como en nuestro caso, está en el cruce de más de una disciplina. Al respecto, es nuestra hipótesis

que el precario nivel de construcción de estas nociones no permite a los alumnos descubrir su significación en los campos específicos de la carrera.

- Ciertas dificultades en la comprensión del concepto *interacción molecular* parecen residir en la complejidad epistemológica del mismo. Dicho concepto requiere distintos niveles de explicación, que resultarían aparentemente contradictorios, desde que existe afinidad entre moléculas «similares» (en cuanto a su polaridad), pero la atracción se da a través de átomos o grupos de átomos (en una y otra molécula involucradas) que confieren cargas eléctricas o densidades de cargas de signo contrario.

- Los modelos moleculares simplistas, el empirismo inmediato y la tendencia a la adopción de «grandes verdades» (como, por ejemplo: «semejante disuelve a semejante») pueden bloquear mecanismos reflexivos que conduzcan a un razonamiento científico en el tratamiento del concepto de *interacción*.

- Según Piaget, el equilibrio toma su tiempo y ese tiempo cada uno lo dosifica a su manera. Así, una excesiva aceleración corre el riesgo de romper el equilibrio (Piaget, 1972). Vale la pena tener en cuenta la reflexión de un alumno, luego de una entrevista:

«El sistema educativo nos lleva corriendo. Me sacan dudas con esto, que uno mismo debería haberse planteado en algún momento».

TRIANGULACIÓN

A partir de la complejidad epistemológica de los conceptos involucrados en el tratamiento de la relación *estructura-propiedades*, se realizó una triangulación de los datos obtenidos mediante los dos instrumentos metodológicos: las encuestas (cuestionarios) y las entrevistas a los alumnos de la carrera de Ingeniería Agronómica. Para ello, se confrontaron las respuestas a las preguntas 3, 7 y 8 (Tabla I) del cuestionario (que incluían los conceptos más directamente relacionados con el tema abordado en la entrevista y que habían dado lugar a una mayor riqueza en las respuestas de los alumnos) con las entrevistas realizadas a los alumnos, categorizadas luego, de acuerdo con el nivel de conceptualización (Tabla II). Esas preguntas se eligieron también en razón de que requerían del alumno una explicación (el «porqué»). Se trata aquí, de triangular los mecanismos o procesos conceptuales puestos en juego por los alumnos.

Dos de los diez alumnos entrevistados plantearon algún tipo de explicación batígena; es decir, recurriendo a una

cierta profundidad en la argumentación. Dicha frecuencia se aproxima a la frecuencia de respuestas correctas dadas a las preguntas 3 (*geometría*), 7 (*fuerzas de atracción*) y 8 (*interacción*). En principio, esto indica que sólo aquellos que hicieron un adecuado manejo de conceptos directamente comprometidos (tales como *interacción* y *fuerzas de atracción*) lograron plantear una explicación profunda (batígena) en relación con la problemática de la entrevista: la homogeneidad aparente de la leche. En ese mismo sentido, la pregunta 6 del cuestionario que apunta a *polaridad*, con relación directa a *estructura*, muestra que, de las 13 respuestas, 8 fueron incorrectas, lo cual corroboraría lo observado anteriormente para las respuestas 7 y 8.

CONCLUSIONES E IMPLICACIONES DIDÁCTICAS

Es posible encontrar ciertos aspectos en común entre las respuestas de los alumnos en los cuestionarios y los comentarios realizados en lo que denominamos «primer momento» de las entrevistas. Aparecen allí, como obstáculos epistemológicos: la tendencia a la generalización, el empirismo inmediato y los modelos simplistas.

Las hipótesis planteadas por los propios alumnos en un «segundo momento» durante las entrevistas deberían considerarse punto de partida de la actividad de enseñanza en la medida que constituyen, eventualmente, problemas significativos para los alumnos.

En el diseño de actividades didácticas, muchas veces olvidamos que toda construcción intelectual, por esencia interactiva (con el objeto de conocimiento específico y con otros, docentes y pares) es un proceso que se desarrolla en un tiempo determinado. Tiempo no de mero transcurrir, sino de arduo trabajo intelectual, ya que «no es lo mismo aprender por un resultado que aprender la lógica necesaria para llegar al resultado» (Piaget, 1972). Concluiremos, entonces, que una noción como la que aquí trabajamos requiere para su aprendizaje profundo de: *a*) el despliegue de toda su complejidad epistemológica; *b*) el tratamiento en un tiempo y un espacio propicios para la reflexión en continuidad.

AGRADECIMIENTOS

La realización de este proyecto de investigación fue posible gracias al apoyo del Consejo de Investigaciones de la Provincia de Córdoba (CONICOR) y de la Facultad de Ciencias Agropecuarias de la Universidad Nacional de Córdoba (UNC), Argentina.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BACHELARD, G. (1985). *La formación del espíritu científico. Contribución a un psicoanálisis del conocimiento objetivo*. Ed. Siglo XXI.
- BENITO, M., MADOERY, R., PEME-ARANEGA, C.; MÖLLER, M., ROMERO, C., MESTRALLET, M. y CADILE, S. (2000). Análisis de las relaciones conceptuales establecidas por alumnos de ciencias agropecuarias en el tratamiento de la noción *efectos electrónicos en las moléculas*. *Actas II Congreso Iberoamericano de Educación en Ciencias Experimentales*.
- CASTORINA, J., LENZI, A. y FERNÁNDEZ, S. (1985). Alcances del método de exploración crítica en psicología genética, en *Psicología genética*. Ed. Miño y Dávila
- DENZIN, N. (1978). *The research act*. Chicago: Aldine.
- EVERTSON, C.M., GREEN, J.L. (1986). La observación como indagación y método, en Wittrock, M. *La investigación en la enseñanza II. Métodos cualitativos y de observación*. Trad. 1989. Barcelona: Paidós.
- FRIEDEN, E. (1975). Non-Covalent Interactions. Key to biological flexibility and specificity. *J. Chem. Educ.*, 52, pp. 754-761.
- FURIÓ, C. y CALATAYUD, M.L. (1996). Difficulties with the geometry and polarity of molecules: Beyond misconceptions. *J. Chem. Educ.*, pp. 73, pp. 36-41.
- GAGLIARDI, R. (1986). Los conceptos estructurantes en el aprendizaje por investigación. *Enseñanza de las Ciencias*, 4 (1), pp. 30 - 35.
- GAGLIARDI, R. (1988). ¿Cómo utilizar la historia de las ciencias en la enseñanza de las ciencias? *Enseñanza de las Ciencias*, 6 (3), pp. 291-296.
- GARCÍA, R. (1997). *La epistemología genética y la ciencia contemporánea*. México: Gedisa.
- GOULD, E. (1967). *Mecanismos y estructuras en química orgánica*. Buenos Aires: Kapeluz.
- HENRIQUES, J. (1977). En Piaget, J. *La explicación en las ciencias*. Barcelona: Martínez Roca.
- JENSEN, W. (1996). Electronegativity from Avogadro to Pauling. Origins of the electronegativity concept. *J. Chem. Educ.*, 73, pp. 11-20.
- MÖLLER, M., MADOERY, R., PEME-ARANEGA, C., MESTRALLET, M., ROMERO, C., BENITO, M., CADILE, S. (2000) La noción *efectos electrónicos en las moléculas*: un estudio cualitativo con alumnos de ciencias agropecuarias. *Actas II Congreso Iberoamericano de Educación en Ciencias Experimentales*.
- MORRISON, R. y BOYD, R. (1998). *Química orgánica*. Longman, México: Addison-Wesley.
- PIAGET, J. (1972). *Estudios de psicología genética*. Cap. 1. Buenos Aires: Emecé.
- PIAGET, J. (1977). *La explicación en las ciencias*. Barcelona: Martínez Roca.
- PIAGET, J. (1979). *La epistemología y las ciencias del hombre*. Tomo I. Buenos Aires: Paidós.
- PIAGET, J. y GARCÍA, R. (1991). *Psicogénesis e historia de las ciencias*. México: Siglo XXI.

[Artículo recibido en septiembre de 2001 y aceptado en marzo de 2003]

ANEXO

Cuestionario. Pregunta 3. Concepto *geometría*. Se pretende observar: el establecimiento de la relación causa-efecto lineal entre estructura molecular, enlace, geometría y polaridad molecular. Comparación entre moléculas. Explicación de la relación de causalidad.

Alumno	Categorías desde el objeto de conocimiento	Tipos de razonamiento desde el sujeto que aprende
1	Correcto parcial	Establece incorrecta relación causa-efecto entre estructura electrónica y enlace en el dióxido de carbono.
2	Correcto parcial	No establece la estructura electrónica de los elementos que conforman el enlace para explicar la geometría.
3	Correcto parcial	Ídem 1 y 2.
4	Incorrecto	Establece una relación de causalidad incorrecta. No establece comparación.
5	Correcto parcial	No relaciona correctamente estructura electrónica de los elementos y enlace en dióxido de carbono. No explica la relación entre estructura electrónica y geometría.
6	Incorrecto	Establece relación entre estructura electrónica y enlace incorrecta. Confusión entre elemento y compuesto. Pseudoconocimiento.
7	Correcto	Explicación heterogénea. No es batígena, pues no explica el porqué de la geometría.
8	Correcto parcial	Confusión entre elemento y compuesto. Establece incompletamente la relación geometría y polaridad molecular. Sin explicación.
9	Incorrecto	Desconocimiento absoluto.
10	Correcto	Explicación batígena.
11	Correcto	Explicación batígena.
12	Incorrecto	Establece relación causal entre geometría y polaridad molecular aunque, en el caso del agua, es incorrecta la estructura planteada y, en el dióxido de carbono, es incorrecto el tipo de enlace.
13	Incorrecto	Establece una relación errónea entre geometría y polaridad molecular, que contradice lo representado (dibujo) con lo explicitado.

Entrevistas sobre la pregunta 8

Explicación homogénea y explicación heterogénea (ejemplos).

En el siguiente fragmento de entrevista se observa que el alumno comienza con una explicación de tipo *homogénea*, cuando alude a un compuesto presente en la leche. Al avanzar en la entrevista opta por una explicación de tipo *heterogénea* ya que recurre a un factor externo, en este caso *el calor*.

–Entrevistador 1: Tendría alguna relación este problema con la explicación que diste antes, de por qué no se mezclaban el agua y el aceite?
 –O sea, tiene que haber algo que permita que en la leche esté todo junto, todo homogéneo, pero...

–Entrevistador 2: Ajá. ¿Qué podría ser ese algo?: ¿un fenómeno?, no sé... ¿un compuesto?
 –Algún compuesto.

–E2: ¿Algún compuesto?
 –Supongo que algún compuesto que tenga la leche.

–E2: Supongamos que tuviera algún compuesto que pudiera producirlo, ¿qué haría ese compuesto? ¿Qué se te ocurre que haría?
 –Y... permitiría que esos lípidos que tenemos en la leche no se disuelvan totalmente pero sí que puedan quedar solubles en el todo, digamos...

–E1: Ajá. ¿Por dónde iría ese proceso?
 –Nunca me había puesto a pensar en eso. Yo creo que iría por los elementos que forman la leche. O sea, desde un principio, sabiendo que tienen lípidos, carbohidratos, proteínas, todo. Pero... o sea, no sé que será. Tiene algo, algo que forma a la leche que permite que... que se junte todo. No sé qué puede ser.

–E2: Aunque no sepamos qué pueda ser, qué haría ese «algo» que vos decís?

–Y... permitiría que los lípidos se vuelvan solubles o se puedan disolver en el líquido.

–E2: ¿Cómo, cómo?

–Dejando las propiedades que puedan llegar a tener los lípidos, pero... eh... permitiendo que se separen.

–E2: ¿Que se separen de qué?

–O sea, que esos lípidos, conserven las propiedades de ellos, pero que tengan capacidad para disolverse en el líquido, o sea, que estén pero disueltos.

–E1: A ver, esto lo dijiste antes y es muy interesante, eh... ¿qué querrá decir que estén, «pero disueltos»?

–Que tengan las propiedades, o sea, que conserven las propiedades mientras están mezcladas con la leche, con el líquido, digamos. Pero que no se diferencien... o sea, que formen parte del líquido pero con propiedades de lípidos.

–E1: ¿Y cómo harían para ser una parte?

–Se tendrían que disolver.

–E1: ¿Y qué quiere decir eso de disolver?

–Y... pasar de un estado sólido a líquido. Por ejemplo, para formar parte de un todo.

–E1: A ver, sigamos avanzando. Pasar de un estado a otro, ¿cómo se produce eso? Perdóname que te pregunte tanto, pero como yo no sé Química...

–...Y, pasa, o sea, algo fuera de la leche, de los lípidos, pasa de un estado a otro por aumento de calor o por sacarle el calor a una cosa. Por ejemplo: de sólido a líquido pasa porque se le agrega calor; entonces ese sólido se disuelve.

Otro alumno, en una explicación de tipo claramente **homogénea** dice frente al mismo problema:

Con las grasas se acomodaría los... porque las colas serían las que interactuarían con las grasas, con los lípidos, ¿no es cierto? Entonces acomodando su estructura podría hacer que la leche se mezclara con el agua.

Y lo que permitirían ahí es cómo encapsular el aceite. Porque, si yo lo tengo como encapsulado como una forma de emulsión, es porque están actuando fosfolípidos, y lo que están haciendo es como conteniendo el aceite...