

Propuestas rigurosas de evaluación de alguna faceta de la educación química

Crterios y actividades para la evaluación del aprendizaje en cursos universitarios de química

Liliana Viera,¹ Silvia Ramírez,¹ Cristina Wainmaier¹ y Julia Salinas²

Abstract (*Criteria and activities for learning evaluation in chemistry university courses*)

In this paper we intend to make a contribution to the learning evaluation practice that may accompany those educative proposals whose objective is a comprehensive learning. We adopt a “constructivist” psychological perspective, an epistemological orientation of “scientific realism” and a methodological vision that “integrates quantitative and qualitative strategies”. From this perspective, some dimensions and sub-dimensions taken as learning evaluation criteria, as well as some learning evaluation activities, are proposed for chemical contents at an introductory university level in scientific and technological careers. These criteria, originally developed in educative research, are potentially highly transferable to classroom.

Introducción

La evaluación es una de las variables que más condiciona el desarrollo y la aplicación de un currículo. En tal sentido, desde la investigación educativa en ciencias se señala que la evaluación, como cualquier otro aspecto didáctico, debe integrarse a las innovaciones curriculares para contribuir al cambio de paradigma didáctico actual (Linn, 1987; Alonso *et al.*, 1992b; Bonilla *et al.*, 2005), dado su carácter especialmente integrador (Duschl *et al.*, 1991; Cudmani *et al.*, 2003) y el reconocimiento de ésta como esencial para el aprendizaje y la enseñanza de las ciencias por su influencia sobre la actividad del profesor y de los estudiantes (Satterly *et al.*, 1988; Sanmartí *et al.*, 2004).

¹ Departamento de Ciencia y Tecnología. Universidad Nacional de Quilmes. R. Sáenz Peña 352, B1876BXD, Bernal, Buenos Aires, Argentina.

Correo electrónico: lviera@unq.edu.ar

² Departamento de Física. Facultad de Ciencias Exactas y Tecnología. Universidad Nacional de Tucumán. Av. Independencia 1800, T4002BLR, Tucumán, Argentina.

Recibido: 21 de noviembre de 2006; aceptado: 5 de agosto de 2007.

Se plantea así la necesidad de una práctica evaluadora que acompañe a las propuestas cuyo objetivo es el aprendizaje comprensivo (Alonso *et al.*, 1992a; Petrucci *et al.*, 1994), señalándose que de no existir una coherencia entre el modelo de enseñanza-aprendizaje y las actividades de evaluación se producirán ciertas disfunciones en el proceso de aprendizaje (Alonso *et al.*, 1992a). Si no se modifica la concepción de docentes y estudiantes sobre la evaluación la actitud de los estudiantes frente a la tarea, determinante del estilo de aprendizaje, no cambiará (Novak, 1991; Petrucci *et al.*, 1994; González, 2000). La evaluación es el estímulo más importante para el aprendizaje: cada acto de evaluación da un mensaje a los estudiantes acerca de lo que deberían estar aprendiendo y cómo deberían hacerlo. Poco importan las innovaciones introducidas, si la evaluación sigue consistiendo sólo en ejercicios para constatar el grado de asimilación de algunos conocimientos conceptuales, pues entonces éste será para los alumnos el verdadero objetivo del aprendizaje (Alonso *et al.*, 1992b). Aún más, los estudiantes centran su atención en lo que se pide y cómo se pide en la evaluación (Sanmartí *et al.*, 2004).

Desde los planteamientos constructivistas se plantea una nueva orientación del proceso de evaluación que implica cambios profundos sobre para qué, qué, cómo y cuándo evaluar, en relación con respuestas dadas desde otros paradigmas pedagógicos. Se entiende a la evaluación como un proceso que, a través de diversos instrumentos y estrategias de toma de datos cualitativos y cuantitativos, permite recoger información, analizarla e interpretarla en función de ciertos criterios, a los fines de emitir juicios que sean relevantes a los procesos de enseñar y aprender (Gimeno Sacristán *et al.*, 1992; Sanmartí *et al.*, 2004). Se señala que es necesario que tanto los criterios de evaluación como los requisitos para la certificación sean claros y explícitos (Petrucci *et al.*, 1994) y que, sin caer en taxonomías excesivamente pormenorizadas de objetivos operativos (Bloom *et al.*, 1975; Gimeno Sacristán, 1982), deben tenerse presentes los grandes objetivos de la educación científica y los obstáculos a superar para hacer posibles los cam-

bios conceptuales, metodológicos y actitudinales asociados a la educación en ciencias (Alonso *et al.*, 1992a).

Pero se encuentran pocas propuestas concretas de criterios de evaluación y las mismas se caracterizan, en general, por enunciados demasiado amplios. Son escasas aquellas que responden a una concepción renovada de la práctica evaluadora, tendiente al aprendizaje comprensivo (Fourtuny *et al.*, 1989; Trigueros, 2004).

El presente trabajo pretende hacer un aporte al respecto presentando posibles criterios y actividades de evaluación del aprendizaje, para cursos básicos de Química de carreras científico tecnológicas. Como referencia se adoptó la propuesta de Wainmaier *et al.* (2002, 2005) (elaborada para la evaluación de la comprensión alcanzada por estudiantes universitarios en Física), en la que se han introducido algunas modificaciones para adecuarla al contexto de interés.

Dimensiones y subdimensiones útiles para evaluar el dominio cognoscitivo de la Química alcanzado por estudiantes de ciclos básicos universitarios

A veces suele confundirse la enunciación de objetivos concretos con la redacción de un programa de contenidos. Para los fines de la evaluación éstos no son de ningún modo equivalentes, si bien están estrechamente vinculados. La enunciación de un conjunto de temas de una disciplina no determina las capacidades que se esperan como resultado del proceso (Cudmani *et al.*, 1976).

Los objetivos generales planteados en la enseñanza de una disciplina son, en último término, nuestra referencia sobre el qué evaluar. Sin embargo dichos objetivos, formulados en términos de capacidades, son en general excesivamente genéricos y no remiten de manera inmediata a actividades de evaluación, iniciales, formativas y/o sumativas. Por ejemplo, en los diseños curriculares se plantean objetivos tales como: “comprender temáticas estructurantes de química”, “comprender el papel de los modelos en la química”.

La palabra “comprender”, que aparece reiteradamente en los diseños curriculares, es un tanto ambigua si se pretende tomarla como referencia para el diseño de instrumentos de evaluación. Por ejemplo, ¿cuándo diremos que un estudiante “comprende” la relación entre estructura electrónica y propiedades? Al intentar dar respuesta a esta pregunta se

puede apreciar que, en relación con la enseñanza y el aprendizaje de las ciencias, la comprensión no parece fácil de definir, conseguir ni evaluar, pues comprender no significa una sola cosa ni una cosa simple. Evaluar la comprensión es más difícil que medir el nivel de recuerdo y no puede limitarse a la repetición memorística de conocimientos teóricos y a la resolución, igualmente repetitiva, de ejercicios de mera aplicación de casos tipo. La evaluación del aprendizaje debe ser más rica y compleja si pretendemos que dé cuenta de los progresos, dificultades y logros de los estudiantes en torno a un aprendizaje comprensivo.

Las tendencias curriculares de corte tecnológico tampoco resuelven adecuadamente en la actualidad los dilemas de qué evaluar (González Pérez, 2000). En este marco, el diseño operativo del control de los aprendizajes logrados caracterizó a la llamada “pedagogía por objetivos” que propugnaba la enunciación de metas concretas, observables y objetivas, expresadas en términos de conductas referidas operacionalmente (Gimeno Sacristán, 1982). Así, la conocida taxonomía de objetivos formulada por Bloom *et al.* (1975) desarrolla una clasificación de objetivos educacionales, a través de la descripción de los comportamientos que se espera que alcancen los estudiantes con relación a esos objetivos.

Muchas de las críticas a taxonomías tales como las de Bloom apuntan a la crisis, reconocida, del paradigma en el que se apoya la pedagogía por objetivos (conductista en lo psicológico, positivista en lo epistemológico, eficientista y tecnicista en lo metodológico). Pero ellas no debieran traducirse en un rechazo a la pretensión racional de explicitar los objetivos, que tienen un sentido orientador y deben ser considerados en interrelación con otros elementos de los procesos de enseñanza y de aprendizaje (Wainmaier *et al.*, 2005).

En este trabajo retomamos la idea, característica de la pedagogía por objetivos y rescatada por Wainmaier *et al.* (2002, 2005), de establecer dimensiones (capacidades que se espera que alcancen los estudiantes) y sub-dimensiones (comportamientos asociados a las dimensiones) (Bloom *et al.*, 1975) para definir criterios de evaluación. Se lo hace desde una perspectiva psicológica “constructivista”, una orientación epistemológica de “realismo científico” y una visión metodológica “integradora de estrategias cualitativas y cuantitativas” (Piaget, 1972; Bunge, 1980; Pozo, 1989).

En un trabajo anterior (Wainmaier *et al.*, 2002), se identificaron y fundamentaron cuatro dimensio-

nes en el dominio cognoscitivo para el aprendizaje de la Física. Creemos que las mismas son adecuadas también para la evaluación en Química. Con base en esta identificación consideramos que un estudiante universitario que ha adquirido una adecuada comprensión de un área temática de la Química es capaz de:

- Diferenciar conceptos y leyes;
- Integrar conceptos (en leyes) y leyes (en teorías);
- Transferir conceptos y leyes lateral y verticalmente, y
- Relacionar adecuadamente teorización y comportamiento fáctico.

Para cada una de estas dimensiones es posible definir subdimensiones que establecen el tipo de aprendizaje que se espera que los estudiantes alcancen con respecto a las capacidades indicadas en las dimensiones enunciadas. Éstas proporcionan información diferente y complementaria sobre el aprendizaje, no

son aplicables sólo a pruebas finales, también orientan el diseño de actividades para la evaluación y para el trabajo permanente en el aula.

En la figura 1 presentamos un diagrama con las dimensiones y subdimensiones propuestas para evaluar el dominio cognoscitivo de la Química. En lo que sigue hacemos una breve referencia a cada dimensión y subdimensión.

1. Primera dimensión: Diferenciar conceptos y leyes. Para evaluar si un estudiante diferencia leyes y conceptos (que comparten atributos críticos y que, por lo tanto, suelen confundirse) podría pensarse que lo más simple y directo es pedirle al estudiante que defina los conceptos o que enuncie las leyes. Sin embargo, puede ocurrir que éste proporcione una buena definición o enuncie correctamente la ley —a expensas de un aprendizaje memorístico—, pero no termine de comprender el significado de los mismos. Acorde con la propuesta de Wainmaier *et al.* (2002,

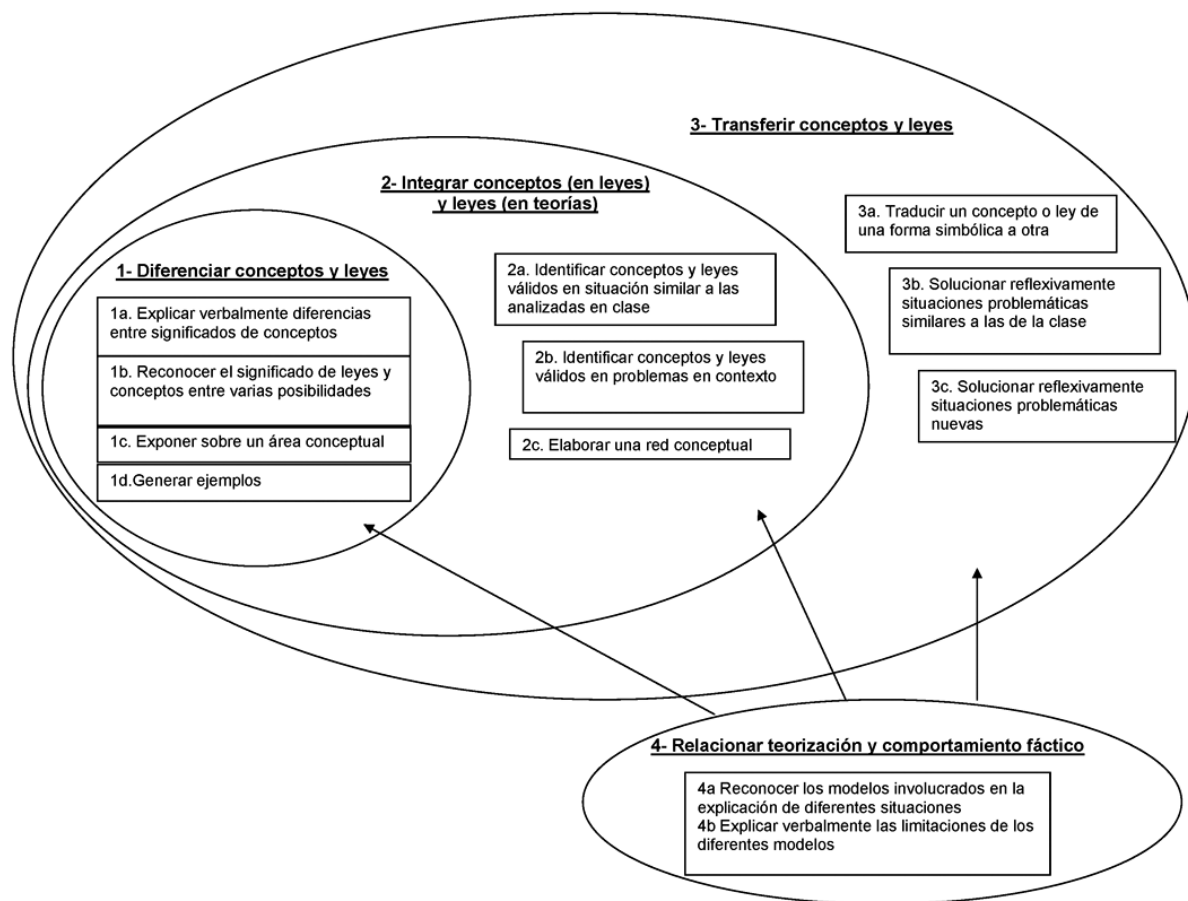


Figura 1. Dimensiones y subdimensiones útiles para evaluar el dominio cognoscitivo de la Química.

2005), apoyada en la idea ausubeliana de diferenciación progresiva (Ausubel *et al.*, 1978), consideramos que un estudiante que diferencia conceptos y leyes es capaz de:

1.a. Explicar verbalmente diferencias entre significados de conceptos. La explicación verbal de diferencias entre conceptos que comparten atributos críticos puede dar cuenta, en cierto grado, de que hay un aprendizaje comprensivo del concepto y no tan sólo un aprendizaje literal y memorístico de una definición. Permite controlar la presencia de confusiones entre conceptos detectados en diferentes contenidos de química —por ejemplo, los citados por De Posada (1999)— e incomprendimientos que pueden quedar enmascaradas por un tratamiento meramente formal de representaciones (ecuaciones, gráficos, fórmulas químicas) a las que no se atribuye significado correcto o se las vacía de significado (Galagovsky *et al.*, 2003).

1.b. Reconocer el significado de leyes y conceptos entre varias posibilidades. Para el reconocimiento se presentan definiciones y leyes asociadas a un concepto. Esta subdimensión es un complemento de la anterior y proporciona información significativa sobre errores muy comunes que cometen los estudiantes, tales como la no diferenciación entre conceptos, entre leyes, o la presencia de concepciones alternativas (Coll *et al.*, 1994). La función de las opciones alternativas no es actuar como distractores sino proporcionar información relevante sobre posibles dificultades.

1.c. Exponer sobre un área conceptual. Se pretende que el estudiante elabore una composición organizada sobre determinada área conceptual. Este ítem permite controlar si el estudiante relaciona y diferencia entre sí conceptos de modo significativo y vincula a éstos con leyes. La comparación, el establecimiento de semejanzas y diferencias, la búsqueda de analogías y de ejemplos, son procedimientos que se fomentan con este tipo de actividades (Coll *et al.*, 1994). La aparición de ideas erróneas o limitadas y conexiones equivocadas entre conceptos o entre conceptos y leyes es aquí un elemento muy informativo.

1.d. Generar ejemplos. Mediante la generación de ejemplos se pretende evaluar el aprendizaje, a través de una activación de conocimientos que no favorezca el uso de una memorización mecánica y acrítica sino la memorización comprensiva, ingrediente fundamental del aprendizaje comprensivo (Piaget, 1972).

2. Segunda dimensión: Integrar conceptos (en leyes) y leyes (en teorías). Exige establecer relaciones entre conceptos y leyes, de modo tal que posibilite una evaluación más profunda de la comprensión de conceptos y leyes y permite integrar aspectos señalados en la dimensión anterior. Por otro lado, si se evitan situaciones que induzcan a respuestas meramente reproductivas se favorece la discriminación entre comprensión y hábito irreflexivo. Apoyándonos en las subdimensiones propuestas por Wainmaier *et al.* (2002, 2005) (en las que hemos introducido algunas modificaciones), basadas en la idea ausubeliana de reconciliación integradora (Ausubel *et al.* 1978) y en las nociones de comprensión y hábito de Piaget (1972), consideramos que quien integra conceptos (en leyes) y leyes (en teorías), es capaz de:

2.a. Identificar conceptos y leyes válidas en una situación similar a las que se suelen analizar en clase. Se trata de presentar situaciones similares a las resueltas en clase, que permitan evaluar la integración de aspectos conceptuales relevantes, controlar la comprensión del significado de las diferentes representaciones (ecuaciones, gráficos, fórmulas químicas), detectar incomprendimientos asociados a concepciones alternativas.

2.b. Identificar conceptos y leyes válidos en problemas en contexto. Se trata de plantear situaciones nuevas, al menos en algún aspecto. Los enunciados permiten recoger información respecto a: concepciones alternativas, interrelación entre conceptos y leyes, generalidad e interrelación de estas últimas.

2.c. Elaborar una red conceptual. Las redes conceptuales son un instrumento que permite una representación gráfica y resumida de las conceptualizaciones y sus interrelaciones. La confección de las mismas implica un esfuerzo intelectual donde el alumno organiza conscientemente el aprendizaje. Exige la integración de conceptualizaciones y favorece resignificar, diferenciar y correlacionar ideas. El ejercicio metacognitivo que realizan los alumnos proporciona validez, contexto y precisión a lo aprendido, a la vez que les permite revisar las conexiones conceptuales realizadas y tomar conciencia sobre aciertos y equivocaciones desde una instancia auto-evaluativa y autocrítica (Novak *et al.*, 1988; Ciliberti *et al.*, 1999; Parolo *et al.*, 2004).

3. Tercera dimensión: Transferir conceptos y leyes lateral y verticalmente. Esta dimensión constituye una herramienta relevante para analizar la comprensión de aspectos conceptuales. Supone

haber diferenciado e integrado conceptos y leyes, para poder aplicarlos, en particular, a la resolución de situaciones problemáticas. Acorde con la propuesta de Wainmaier *et al.* (2002, 2005), apoyada en las ideas de transferencia lateral y vertical (Gimeno Sacristán *et al.*, 1992), consideramos que un estudiante que transfiere conceptos y leyes es capaz de:

3.a. Traducir un concepto o ley de una forma simbólica a otra. En química se utilizan diferentes lenguajes (verbal, fórmulas químicas, ecuaciones). La tendencia de los alumnos a expresarse solamente con un lenguaje verbal correcto puede ocultar aprendizajes exclusivamente memorísticos. Si el cruce de expresiones en lenguajes diferentes muestra incoherencias éstas pueden estar evidenciando errores de aprendizaje. Según Galagovsky *et al.* (2003) las representaciones acerca de un tema serían grados complejos de significación, expresados mediante lenguajes alternativos, complementarios y convergentes sobre los mismos conceptos científicos. Aprender, para el novato, consistirá en llegar a compartir las significaciones y representaciones mentales de los expertos. Se han identificado fuentes de dificultades en el uso del lenguaje formal de la química (Friedel *et al.*, 1992) e incomprensiones surgidas de vaciar de significado a las relaciones matemáticas con que se simbolizan los enunciados de leyes y de un manejo de estas expresiones como meros algoritmos de cálculo (Cudmani *et al.*, 1995).

3.b. Solucionar reflexivamente situaciones problemáticas similares a las que suelen analizarse en clase. Transferir verticalmente conceptos y leyes constituye una herramienta fundamental para analizar la comprensión (Ausubel *et al.* 1978). La solución de problemas es un elemento válido y práctico de procurar evidencia de un aprendizaje comprensivo. La elaboración de una respuesta científica requiere entonces de una vinculación reflexiva entre el contenido y las diversas representaciones de las que hace uso la química. Dicha reflexión muchas veces está ausente; por ejemplo, los estudiantes enfrentan los problemas escribiendo ecuaciones y analizando la situación planteada sólo a través del cálculo, en desmedro de consideraciones cualitativas o conceptuales, o sin analizar si los resultados obtenidos son coherentes. Es frecuente así mismo que usen una metodología de la superficialidad dando respuestas rápidas y seguras, enfrentándose al problema de una manera acrítica, privilegiando la información inmediata (Gil *et al.*, 1985; Trinidad-Velasco *et al.*, 2003).

3.c. Solucionar reflexivamente situaciones problemáticas

cas nuevas. Esta subdimensión complementa la anterior. Permite obtener mayor información sobre el grado de comprensión, pues la solución reflexiva de situaciones nuevas es una buena medida de la cantidad y calidad de las ideas construidas por el estudiante (Ausubel *et al.*, 1978). Para dar una respuesta no basta recurrir al recuerdo de alguna situación similar resuelta en clase.

4. Cuarta dimensión: Relacionar teorización y comportamiento fáctico. Esta dimensión no guarda una relación jerárquica con las anteriores. Pretende considerar uno de los objetivos primordiales de la enseñanza de las ciencias: lograr que los estudiantes comprendan y compartan los modelos científicos, una de las herramientas más elaboradas que posee la ciencia. Bunge (1980) distingue dos sentidos principales del término modelo: modelo como representación esquemática de un objeto o sistema concreto (objeto modelo) y modelo como teoría (modelo teórico). Apoyándonos en las subdimensiones propuestas por Wainmaier *et al.* (2002, 2005) (en las que hemos introducido algunas modificaciones), basadas en las ideas de Bunge (1980), consideramos que un estudiante que reconoce la relación entre teorización y comportamiento fáctico es capaz de:

4.a. Reconocer el/los modelos involucrados en la explicación de diferentes situaciones. Esta subdimensión pretende indagar si se conocen y distinguen las diferentes aproximaciones interpretativas y/o matemáticas que deben asumirse en la resolución de problemas. Los estudiantes suelen presentar dificultades con el manejo de modelos alternativos pero que poseen diferente poder explicativo (Andrade-Gamboa *et al.*, 2006; Salinas, 2006). Se trata de evaluar si los estudiantes son capaces de reconocer cuál o cuáles de estos modelos permiten explicar una situación.

4.b. Explicar verbalmente las limitaciones de los diferentes modelos. Esta dimensión es un complemento de la anterior. Pretende indagar si los estudiantes son capaces de explicitar cuáles son las limitaciones de los diferentes modelos, en cuanto a su poder explicativo.

A modo de ejemplo de aplicación de los criterios propuestos, en el Anexo se presenta una serie de actividades para evaluar la comprensión de la relación estructura-propiedades físicas y químicas, en un curso de Química General de nivel universitario.

Conclusiones

Hemos propuesto una serie de aspectos a tener en

cuenta en la evaluación de los aprendizajes que, a nuestro entender, habiendo sido derivados de investigaciones educativas, presentan una elevada potencialidad de transferencia al aula. De hecho, por nuestra parte, estamos poniendo en práctica criterios de evaluación como los enumerados, en cursos de Química de ciclos básicos universitarios insertos en el paradigma constructivista.

Consideramos que la referencia explícita a estos u otros criterios puede ser útil a la hora de diseñar los instrumentos de evaluación y el programa de actividades para las clases. Por otro lado, se presenta una visión de facetas a evaluar que no se limitan, como generalmente ocurre, a la mera aplicación de conceptos y leyes en la resolución de problemas o ejercicios. Además, creemos que posibilitan una evaluación más ajustada al desarrollo de cada alumno y mayores posibilidades de brindar apoyos puntuales a limitaciones de comprensión que pudieran asociarse a las diferentes dimensiones.

Los aspectos a considerar en la evaluación de los aprendizajes y los ejemplos de actividades que presentamos son perfectibles y no son únicos. El conocimiento de los mismos puede ser útil para aplicarlos directamente en el aula o para tomar algunos como referentes y definir otros, en función de las capacidades que se intentan promover y evaluar, considerando muy particularmente el grupo con que se trabaja. Sean estas u otras las dimensiones y subdimensiones adoptadas, creemos que con su explicitación se favorece que los docentes compartan criterios concretos y se supere la vaguedad de metas demasiado generales. No obstante, no debemos caer en la enunciación de un listado rígido, uniforme e inmanejable en la realidad de cada aula. A la hora de fijar esos criterios es preciso no olvidar que sólo aquello que es evaluado es percibido por los estudiantes como realmente importante.

Como podrá observarse, cada una de las subdimensiones propuestas proporciona información diferente y complementaria sobre el aprendizaje de los alumnos. Seguramente la evaluación más completa de un aprendizaje comprensivo será aquella que recurra a diversos criterios complementarios. Claro está que no se trata de elaborar un protocolo de evaluación que contemple todas las subdimensiones para ser resueltas por los estudiantes en una sola instancia. La idea es concebir la evaluación como parte de las actividades de aprendizaje y evaluar la comprensión, haciendo uso de estos u otros criterios, en el curso de las mismas.

Hay que recordar que el proceso de evaluación debería comenzar con un análisis de los conocimientos previos y proseguir durante el propio proceso de aprendizaje. Si pensamos en una evaluación ligada sólo a la medición de niveles terminales corremos el peligro de reducir la evaluación a un proceso de calificación. Cuando todas las actividades de aprendizaje están únicamente dirigidas a superar una evaluación o control con fecha determinada, es muy probable que el alumno se implique en un aprendizaje memorístico en lugar de esforzarse por comprender, ya que en ese caso es mucho más rentable memorizar —y luego olvidar— que intentar comprender (Pozo *et al.*, 1998). ■

Bibliografía

- Alonso, M.; Gil, D. y Martínez Torregrosa, J., Los exámenes de Física en la enseñanza por transmisión y en la enseñanza por investigación, *Enseñanza de las Ciencias*, **10**(2), 127-138, 1992a.
- Alonso, M.; Gil, D. y Martínez Torregrosa, J., Concepciones espontáneas de los profesores de ciencias sobre la evaluación: obstáculos a superar y propuestas de replanteamiento, *Revista de Enseñanza de la Física*, **5**(2), 18-38, 1992b.
- Andrade-Gamboa, J. y Donati, E., El concepto de resonancia: confusiones ontológicas y epistemológicas, *Educación Química*, **17**(2), 2006.
- Ausubel, D.; Novak, J. y Hanesian, H., *Psicología Educativa: Un punto de vista cognoscitivo*, Trillas, México, México, 1978.
- Bloom, B.; Hastings, J. y Madaus, G., *Evaluación del aprendizaje*, Troquel, Buenos Aires, Argentina, 1975.
- Bonilla, M. y López, A., ¿Las concepciones de evaluación de los docentes están articuladas con las epistemológicas y de aprendizaje?, *Actas del VII Congreso Internacional sobre Investigación en la Didáctica de las Ciencias*, Granada, España, 1-5, 2005.
- Bunge, M., *La investigación científica*, Ariel, Barcelona, España, 1980.
- Ciliberti, N. y Galagovsky, L., Las redes conceptuales como instrumento para evaluar el nivel de aprendizaje conceptual de los alumnos. Un ejemplo para el tema de dinámica, *Enseñanza de las Ciencias*, **17**(1), 17-29, 1999.
- Coll, C.; Pozo, I.; Sarabia, B. y Valls, E., *Los contenidos en la reforma. Enseñanza y aprendizaje de conceptos, procedimientos y actitudes*, Aula XXI, Buenos Aires, Argentina, 1994.

- Cudmani, L.; Plopar, M.; Lewin, A. y Bullamte, S., Propuesta para un nuevo enfoque de la evaluación en Física. *FCEyT-FUNT*, N° EA 2, 6-17, 1976.
- Cudmani, L.; Salinas, J. y Pesa, M., Distintos tipos de constantes en Física y aprendizaje significativo de la disciplina, *Enseñanza de las Ciencias*, **13**(2), 237-247, 1995.
- Cudmani, L.; Villalonga, P. y Raya, F., Marcos teóricos de referencia para orientar la evaluación del aprendizaje en cursos básicos universitarios en ciencias, *Actas de la VIII Conferencia Interamericana sobre Educación en la Física*, La Habana, Cuba, 1-7, 2003.
- De Posada, J., Concepciones de los alumnos sobre el enlace químico, antes, durante y después de la enseñanza formal. Problemas de aprendizaje, *Enseñanza de las Ciencias*, **17**(2), 227-245, 1999.
- Duschl, R. y Gitomer, D., Epistemological perspectives on conceptual change: implications for educational practices, *Journal of Research in Science Teaching*, **28**(9), 839-858, 1991.
- Fourtuny, J. e Izquierdo, M., Elaboración de instrumentos de evaluación diagnóstica de conocimientos de ciencias y matemática en los niveles no universitarios, *Revista Interuniversitaria de Formación del Profesorado*, **6**, 169-179, 1989.
- Friedel, A.W. y Maloney, D.P., An exploratory, classroom-based investigation of students' difficulties with subscripts in chemical formulas, *Science Education*, **76**, 65-78, 1992.
- Galagovsky, L., Rodríguez, M.A., Stamatí, N. y Morales, L., Representaciones mentales, lenguajes y códigos en la enseñanza de ciencias naturales. Un ejemplo para el aprendizaje del concepto de reacción química a partir del concepto de mezcla, *Enseñanza de las Ciencias*, **21**(1), 107-121, 2003.
- Gil, D. y Carrascosa, J., Science learning as a conceptual and a methodological change, *European Journal of Science Education*, **7**(3), 231-236, 1985.
- Gimeno Sacristán, J., *La pedagogía por objetivos, una obsesión por la eficacia*, Morata Madrid, España, 1982.
- Gimeno Sacristán, J. y Pérez Gómez, A., *Comprender y transformar la enseñanza*, Morata, Madrid, España, 1992.
- González Pérez, M., La evaluación del aprendizaje: tendencias y reflexión crítica, *Revista Cubana de Educación Superior*, **20**(1), 47-67, 2000.
- Linn, M., Establishing a research base for science education: challenges, trends and recommendations. *Journal of Research in Science Teaching*, **24**(3), 191-216, 1987.
- Novak, J., Ayudar a los alumnos a aprender a aprender. La opinión de un profesor investigador. *Enseñanza de las Ciencias*, **9**(2), 219-220, 1991.
- Novak, J.; Gowin, D., *Aprendiendo a aprender*, Martínez Roca, Barcelona, España, 1988.
- Parolo, M.E., Barbieri, L.M. y Chrobak, R., La metacognición y el mejoramiento de la enseñanza de química universitaria, *Enseñanza de las Ciencias*, **22**(1), 79-92, 2004.
- Petrucci, D. y Cordero, S., El cambio en la concepción de evaluación, implementación universitaria, *Enseñanza de las Ciencias*, **12**(2), 289-293, 1994.
- Piaget, J., *Psicología y Epistemología*, Emecé Editores, Buenos Aires, Argentina, 1972.
- Pozo, J., *Teorías cognitivas del aprendizaje*, Morata, Madrid, España, 1989.
- Pozo, J. y Gómez Crespo, M., *Aprender y enseñar ciencia*, Morata, Madrid, España, 1998.
- Salinas J., El vínculo entre teoría y realidad en las aulas de Física. Dificultades de estudiantes universitarios en electricidad, *Memorias de la Novena Conferencia Inter Americana sobre Educación en Física*, San José, Costa Rica, 1-10, 2006.
- Satterly, D. y Swann, N., Los exámenes referidos al criterio y al concepto en Ciencias: un nuevo sistema de evaluación, *Enseñanza de las Ciencias*, **6**(3), 278-284, 1988.
- Sanmartí, N y Alimenti, G., La evaluación refleja el modelo didáctico: análisis de actividades de evaluación, *Educación Química*, **15**(2), 120-128, 2004.
- Trigueros, M., Innovación en evaluación: un ejemplo basado en la perspectiva de modelos, *Educación Química*, **15**(2), 129- 141, 2004.
- Trinidad-Velasco, R. y Garritz, A., Revisión de las concepciones alternativas de los estudiantes de secundaria sobre la estructura de la materia, *Educación Química*, **14**(2), 2003.
- Wainmaier, C y Salinas, J., ¿Cuándo puede decirse que un alumno universitario ha comprendido conceptualmente la Mecánica Newtoniana?, *Actas del VI Simposio de Investigadores en Educación en Física*, Corrientes, Argentina, 1-10, 2002.
- Wainmaier, C., Salinas J. Incomprensiones en el aprendizaje de la Mecánica Clásica básica, *Revista de Enseñanza de la Física*, **18**(1), 39-54, 2005.

ANEXO

Ejemplos de enunciados para evaluar la comprensión conceptual de la relación estructura-propiedades físicas y químicas

Diferenciar conceptos y leyes*1.a. Explicar verbalmente diferencias entre significados de conceptos*

Explica en un breve párrafo las diferencias entre los conceptos de orbital atómico y orbital molecular. Incluye ejemplos aclaratorios.

1.b. Reconocer el significado de leyes y conceptos entre varias posibilidades

A continuación reproducimos diferentes frases que utilizaron alumnos al hacer referencia a la relación entre las fuerzas intermoleculares y la solubilidad de un soluto en un solvente. Indica si consideras “correcta” o “incorrecta” cada una de las frases. Justifica todas tus respuestas.

- La solubilidad de un soluto en un solvente depende del tipo de fuerzas intermoleculares entre las moléculas del soluto.
- La solubilidad de un soluto en un solvente depende del tipo de fuerzas intermoleculares entre las moléculas del solvente.
- La solubilidad de un soluto en un solvente depende tanto del tipo de fuerzas intermoleculares entre las moléculas de soluto como de las fuerzas intermoleculares entre las moléculas del solvente.
- La solubilidad de un soluto en un solvente no tiene ninguna relación con el tipo de fuerzas intermoleculares presentes en el soluto o en el solvente.

1.c. Exponer sobre un área conceptual

Un estudiante pide que se le explique qué se entiende por resonancia en Química. Redacta un breve párrafo explicativo que dé respuesta al estudiante. Brinda ejemplos aclaratorios.

1.d. Generar ejemplos

¿Es posible que un compuesto no polar presente mayor punto de ebullición que uno polar? Justifica y brinda un ejemplo que reafirme tu justificación.

2. Integrar conceptos (en leyes) y leyes (en teorías)*2.a. Identificar conceptos y leyes válidos en una situación similar a las que suelen analizarse en clase*

Tomando la definición que considera a los ácidos como aquellas sustancias capaces de donar protones, cuando se hace mención a la acidez o fuerza ácida de una sustancia, se está haciendo referencia a:

- La velocidad con que la sustancia le cede protones al agua.
- La posición del equilibrio en la reacción de la sustancia con el agua.
- A ambas.
- A ninguna de las dos.

Marca la opción que consideres correcta y justifica.

2.b. Identificar conceptos y leyes en problemas en contexto

En la limpieza en seco que se realiza en las tintorerías es muy común utilizar como solvente el percloroetileno (un solvente orgánico no polar). Este tratamiento es muy efectivo para la eliminación de manchas de grasas, aceites o ceras. Sin embargo, las manchas producidas por azúcares o transpiración no son removidas en esta instancia, sino que requieren un tratamiento previo con productos que generalmente poseen en su composición detergentes. Explica por qué.

2.c. Elaborar una red conceptual

Considera la siguiente lista desordenada de términos empleados en química. Elabora una red en la que intervengan todos los términos y en la que muestres las relaciones entre ellos. Puedes incorporar nuevos términos si lo consideras conveniente.

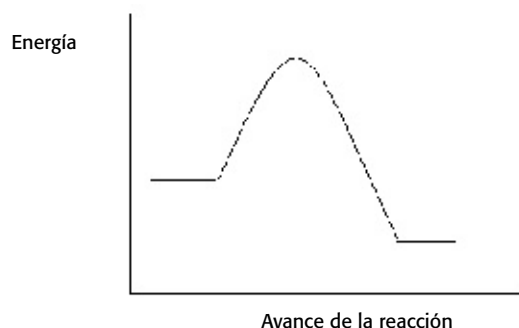
Estructura electrónica, electrones de valencia, orbitales atómicos, fuerzas electrostáticas, enlace químico, fuerzas intermoleculares, geometría molecular, polaridad, propiedades físicas, propiedades químicas, punto de fusión, punto de ebullición, acidez, solubilidad, basicidad.

3. Transferir lateral y verticalmente conceptos y leyes

3.a. Traducir un concepto o ley de una forma simbólica a otra

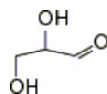
Explica con palabras la información, asociada a una reacción química, que brindan las siguientes expresiones y representaciones:

- $A + B \rightleftharpoons C$
- $\Delta H = -84 \text{ kJ/mol}$
- $v = k [A]$
- d)



3.b. Solucionar situaciones problemáticas similares a las resueltas en clase

¿Será posible disolver gliceraldehído en n-hexano? Justifica



gliceraldehído



n-hexano

3.c. Solucionar reflexivamente situaciones problemáticas nuevas

Un auxiliar de laboratorio preparó una solución 1 M de sulfato de cobre un día en que la temperatura fue de 20°C y la dejó en una botella cerrada. Al otro día observó que en la botella había un precipitado. ¿Qué podría ser ese precipitado? ¿Qué harías para disolverlo? Justifica.

4. Relacionar teorización y comportamiento fáctico

4.a. Reconocer el/los modelos involucrados en la explicación de diferentes situaciones

Indica cuál/les de los siguientes modelos para el enlace químico: Lewis, TRPEV, Orbitales Moleculares, Teoría de enlace valencia, permiten explicar las cuestiones planteadas a continuación. Justifica en todos los casos.

- El número de enlaces que forma el carbono en el metano.
- La polaridad del CH_3Cl .
- La solubilidad del etanol en agua.
- La geometría de una molécula triatómica.
- La polaridad de una molécula diatómica.

4.b. Explicar verbalmente las limitaciones de los distintos modelos.

Explica verbalmente las limitaciones del modelo de enlace propuesto por Lewis. Brinda un ejemplo aclaratorio.