

## **EVALUACIÓN DE COMPETENCIAS: UN CASO PRÁCTICO EN MATERIAS DE QUÍMICA DE TITULACIONES DE INGENIERÍA**

**Gabriel Pinto, Jorge Ramírez, Carmen Matías,  
Davinia Pascual Navarrete, Joaquín Martínez Urreaga**  
Departamento de Ingeniería Química Industrial y del Medio Ambiente  
E.T.S. de Ingenieros Industriales. Universidad Politécnica de Madrid  
José Gutiérrez Abascal 2, 28006 Madrid  
*gabriel.pinto@upm.es, joaquin.martinez@upm.es*

### **Resumen**

Se recoge una breve revisión sobre el modelo de aprendizaje por competencias y de sus técnicas de evaluación (destacando la elaboración de rúbricas adecuadas sobre competencias genéricas). Se indica el interés de los autores por avanzar en el desarrollo de métodos de evaluación de competencias de alumnos de asignaturas de Química en titulaciones de Grado de Ingeniería. Se muestran algunas ideas iniciales que han llevado a cabo en su práctica docente, destacando ventajas, inconvenientes, perspectivas de futuro y opinión de los alumnos.

### **Palabras clave**

Química en Ingeniería; técnicas de evaluación; rúbricas; interdisciplinaridad.

### **1. INTRODUCCIÓN AL APRENDIZAJE POR COMPETENCIAS**

No solamente en Europa, promovido por el proceso de Bolonia, sino a nivel mundial, las Universidades están orientándose, a nivel pedagógico, hacia un enfoque basado en los resultados de aprendizaje esperados de los alumnos, para lo que se requiere que se identifiquen, de forma explícita, tanto los conocimientos como las habilidades que se pretende que alcancen con los programas formativos. Se debe, entre otras razones, a que, desde los años ochenta, ha habido una creciente demanda por parte de los empleadores para que los titulados posean una serie de habilidades transferibles, además del conocimiento propio de cada titulación [1, 2].

Se entiende por "competencia" la "pericia, aptitud, idoneidad para hacer algo o intervenir en un asunto importante" [3]. En Educación, es común distinguir entre competencias que son específicas y las que son transversales o genéricas. Las primeras caracterizan una profesión y las distinguen de otras. Las segundas son las que rebasan los límites de una disciplina para desarrollarse potencialmente en todas ellas. Marquès define competencia como la capacidad de poner en marcha, de manera integrada, los conocimientos adquiridos y rasgos de personalidad que permiten resolver situaciones diversas en la vida profesional [4]. La conceptualización no siempre es clara, refiriéndose a veces a dimensiones diferentes, dado que la terminología no es común entre distintos autores. Incluso en el ámbito de la ingeniería, en España, las competencias profesionales, hoy denominadas atribuciones profesionales, se referían, hasta hace pocos años, al ámbito legal de actuación de cada tipo de profesional. La reflexión sobre las competencias genéricas o transversales es un tema que actualmente está generando grandes expectativas en el ámbito educativo.

El aprendizaje por competencias contempla la educación integral del estudiante, pues aborda tanto los conocimientos teóricos como las habilidades o conocimientos prácticos o aplicativos, así como las actitudes o compromisos personales, que van del "saber" y "saber hacer" al "saber ser o estar" [5].

Frente a ciertas limitaciones del aprendizaje tradicional, el aprendizaje por adquisición de competencias implica el desarrollo de capacidades, no sólo la adquisición de contenidos puntuales y descontextualizados, y supone la capacidad de usar funcionalmente los conocimientos y habilidades en contextos diferentes. Las competencias genéricas, denominadas también básicas, transversales o transdisciplinares, son transferibles a una gran variedad de funciones y tareas, y deberían capacitar y habilitar al titulado universitario para integrarse con éxito en la vida laboral y social. La adquisición de destrezas en habilidades genéricas debe permitir al estudiante, además, afrontar las competencias específicas de su área de conocimiento, con mayor garantía de éxito. La formulación explícita de competencias en los nuevos planes de estudio ha sido una tarea compleja, no exenta de ciertos conflictos internos en los Centros. En todo caso, el interés por conocer sobre competencias es obvio: constituye el elemento básico para juzgar la idoneidad de un plan de estudio, corregirlo cuando no sea óptimo y conocer los contenidos básicos que deben evaluarse.

En este trabajo se comentan brevemente algunas de las herramientas empleadas en el desarrollo y la evaluación de competencias en nuestro Centro, en el primer curso de la titulación de Ingeniería Química, y se presenta la opinión de los alumnos sobre distintas formas de evaluación. Se analizan con un poco más de detalle dos de las herramientas que han comenzado a emplearse más recientemente, como son los “*one minute papers*” y las actividades interdisciplinares.

## 2. EVALUACIÓN DE COMPETENCIAS GENÉRICAS

Es bien conocida la importancia que está adquiriendo la necesidad de profundizar en diversos aspectos de la evaluación de competencias [6]. Quizá se trata de una de las “asignaturas pendientes” de la Universidad española, dentro de su proceso de adaptación actual. Las conocidas como competencias específicas, propias de cada materia, se suelen evaluar siguiendo procedimientos suficientemente contrastados y establecidos. Resulta más difícil diseñar herramientas y establecer procedimientos adecuados para la evaluación de las competencias genéricas. El hecho de que se haya señalado que es una “asignatura pendiente” de la Universidad española, no quiere decir que en otros entornos sea un tema asumido y resuelto. Recientemente, Felder y Brent escribían un artículo con el título de “*Hard assessment of soft skills*” [7], donde señala: “*se le ha indicado que en el planteamiento de acreditación de su Centro según los criterios ABET (o los de Bolonia), tiene que enseñar a sus alumnos cómo comunicarse de forma efectiva y/o discutir soluciones de ingeniería a problemas sociales y/o analizar y resolver dilemas éticos. Tiene dos problemas que resolver. Primero, ¿cómo enseñar esas habilidades cuando nadie se las enseñó a usted? Segundo, ¿cómo valorar el nivel de adquisición de esas habilidades por los estudiantes?*”

Probablemente más de un profesor universitario se siente identificado con las reflexiones implícitas en esta referencia. Los propios autores ofrecen algo de luz sobre el tema, señalando que el reto fundamental es encontrar un proceso de evaluación fiable (un mismo ejercicio debería recibir similar calificación por parte de profesores distintos o por el mismo profesor en otro momento) y justo (los estudiantes deben conocer los criterios de calificación, qué y cómo cuenta). Como posible solución, apuntan a los formularios de evaluación (*grading checklist*) y a las rúbricas. En el primer caso, se trata de documentos donde se indican los criterios de evaluación y la máxima puntuación asociada a cada uno. El profesor califica cada aspecto y calcula la valoración numérica final. En el caso de las rúbricas, se califica mediante valores discretos (por ejemplo de 1 a 5) y se indica una breve descripción de lo que representa cada número. La calificación final es, en este caso, una suma ponderada (dando el peso según el criterio del profesor). Los autores recogen un ejemplo de ambos casos para evaluar trabajos escritos y para la evaluación personalizada de cada alumno en un proyecto realizado en grupo [7]. Además, se indica una dirección Web donde se ofrece (en inglés y en español) información y plantillas para diseñar rúbricas en diferentes aspectos, que incluyen realización de proyectos, participación en debates, presentaciones orales, informes de laboratorio, o incluso cuestiones tan puntuales como presentaciones de actividades de divulgación en ferias científicas [8].

Según Felder y Brent, gracias a los formularios de evaluación y rúbricas, los estudiantes aprecian, rápidamente, qué calificación obtuvieron, y pueden tener una idea clara de lo que necesitarán mejorar de cara a futuras tareas. Para mostrar a los alumnos inicialmente cómo se emplearán las rúbricas, proponen un ejemplo: para evaluar una presentación oral, sugieren que el profesor realice una (de forma breve) en clase, cometiendo los errores típicos (leer directamente de un papel, dirigirse a la

pizarra o a la pared, mostrar rápidamente una presentación en PowerPoint con las diapositivas llenas de texto, etc.). Los alumnos probablemente lo tomarán con humor. Tras dos o tres minutos de exposición, se les puede pedir que lo evalúen, de forma individual, a través de una rúbrica y que, posteriormente, discutan por parejas su calificación. Esto, según los autores, promoverá que un buen número de los alumnos realicen presentaciones de gran calidad.

En otras palabras, la evaluación es un factor esencial en el modelo de enseñanza por competencias. Como dice uno de los clásicos aforismos de la Pedagogía: lo que no se evalúa, se devalúa. Si, por ejemplo, queremos promover que los alumnos sean capaces de realizar trabajos escritos adecuados, no sólo se tendrían que favorecer que los realicen; tienen que ser convenientemente evaluados y de una forma homóloga a lo largo de la titulación. Esto supone bastante más que simplemente pedir a los alumnos que escriban trabajos, además de una cierta coordinación entre profesores.

### **3. INICIATIVAS PARA LA EVALUACIÓN DE COMPETENCIAS EN MATERIAS DE QUÍMICA EN INGENIERÍAS**

Como la mayor parte de los Centros universitarios españoles, la ETS de Ingenieros Industriales de la Universidad Politécnica de Madrid está abordando, mediante grupos de trabajo, la problemática asociada al desarrollo y evaluación de las competencias genéricas. En el ámbito concreto de materias de Química en titulaciones de Ingeniería, hay diversos textos donde se aborda la cuestión [9]. En un trabajo reciente [10] se especificó cómo la materia básica de Química podría contribuir a la formación de competencias clave en los nuevos Grados de Ingeniería. Aquí se resumen algunos aspectos que, en concreto, para evaluar competencias, estamos desarrollando en los últimos años, en asignaturas de primer curso de las titulaciones de Ingeniero Industrial e Ingeniero Químico. Estas asignaturas (todas semestrales) son Química I, Química II, Química Inorgánica y Experimentación en Química I.

- Examen final. Aunque a menudo es cuestionado, se sigue considerando una herramienta evaluadora de utilidad. Entre otros aspectos, permite una evaluación de los alumnos que, por diversas circunstancias, no han seguido el programa de evaluación continua.
- Exámenes parciales. Permite que el alumno compruebe, antes de llegar a final de curso, el grado de consecución de los objetivos.
- Trabajos en equipo. Para que se produzca aprendizaje cooperativo efectivo, se considera básico que existan los siguientes componentes esenciales [11]: (i) interdependencia positiva (cada miembro del grupo debe ser consciente de que no puede tener éxito si los demás miembros no lo tienen), (ii) responsabilidad individual (cada alumno debe responder de su aprendizaje y del de sus compañeros), (iii) interacción simultánea (tiene que haber una dinámica de trabajo con interacción continua y directa entre los miembros del grupo), (iv) evaluación de los resultados y del proceso (deben desarrollarse actividades de reflexión y evaluación del trabajo en grupo). Se propone a los alumnos trabajos para realizar en grupos de tres o de dos (tanto en el laboratorio como en el aula o en la biblioteca).
- Trabajos prácticos. Esencialmente en materias de carácter experimental, se intenta que los alumnos no se limiten a “seguir una receta” en el laboratorio, y se les propone la realización de proyectos finales, donde tienen que desarrollar la planificación, creatividad, análisis de datos, etc. [12]. En algún caso, además, se solicita que los alumnos aborden tareas con datos experimentales, aunque no se trate de actividades realizadas en el laboratorio. Es el caso, por ejemplo, de problemas relacionados con la emisión de CO<sub>2</sub> por automóviles [13], del efecto de adición de agua sobre aceite caliente [14] o de la temperatura que alcanza una bebida autocalentable comercial [15]. Muchos alumnos encuentran una dificultad inicial en afrontar este tipo de trabajos.
- Trabajos teóricos. Bien en equipo, bien de forma individual, se propone a los alumnos realización de trabajos. Por ejemplo, en la asignatura de Química Inorgánica, cada alumno debe elaborar un trabajo sobre un elemento asignado, donde se valora contenido, presentación, consulta de fuentes adecuadas y originalidad. Se les indican/sugieren normas precisas para el trabajo, como son: extensión máxima, portada, y apartados: introducción (objetivos y presentación), estado natural del elemento, propiedades, obtención y purificación, aplicaciones, compuestos más

importantes que forma, curiosidades (detalle histórico, perspectivas de futuro, etc.), conclusiones o resumen, y fuentes consultadas (se detalla cómo incluirlas, así como que se valorará más el uso de libros y revistas adecuadas que direcciones Web no contrastadas; de forma específica, se indica que es muy negativo en la calificación que se aprecie una forma de trabajo del tipo “corta y pega”). Se señala que no se limite el trabajo a meras descripciones. Además, se indica que las figuras y esquemas suelen ser de utilidad, pero sólo si contribuyen a aclarar el texto y son convenientes en el contexto del trabajo, que es recomendable que se comente con el profesor durante el desarrollo del trabajo antes de su entrega y que, antes de entregarlo, sea leído para percatarse de errores de redacción. A pesar de las instrucciones dadas, la experiencia demuestra que un número significativo de alumno hace caso omiso de buena parte de ellas. Con vistas a la formación en competencias, se considera que el alumno debería desarrollar la actividad en cursos sucesivos. Para ello, disponer de rúbricas ampliamente aceptadas por el conjunto de profesores sería un aspecto esencial.

- Trabajos sobre problemas. Se han desarrollado diversas iniciativas para que, aparte de los ejercicios que se proponen en cada tema, los alumnos se impliquen en la resolución de problemas con datos variables. Se proponen algunos en la plataforma educativa del Centro, donde cada alumno, de forma individual, parte de datos iniciales diferentes, y otros en los que, trabajando en grupo, debe iniciar el problema buscando los datos, como es el caso de aspectos estequiométricos de aguas minerales [16] y de compuestos de flúor para tratamiento de aguas y preparación de dentífricos [17].
- Cuestionarios rápidos (2 a 5 minutos) sin calificación o con calificación. Estos cuestionarios, conocidos en inglés como *one-minute paper* [18], son ampliamente utilizados en diversos entornos. En esencia, consisten en que, al final (o en otro momento) de una clase, los alumnos responden por escrito a preguntas abiertas (es lo más habitual) o sobre algún aspecto de lo estudiado. Por ejemplo, preguntas típicas son: ¿qué ha sido lo más importante que has aprendido en la clase de hoy? ¿Qué es lo que ha quedado más confuso? Aparte de ser una manera de pasar lista (éste fue el origen de la idea) sin emplear mucho tiempo, abre líneas de comunicación entre el profesor y los alumnos y se personaliza el proceso de enseñanza, a la vez que pueden corregirse la adquisición de conceptos.
- Actividades interdisciplinares en primer curso. Existe un amplio consenso sobre que las actividades interdisciplinares son muy importantes en la formación de los futuros ingenieros que, en muchas ocasiones, han de desarrollar su actividad en entornos multidisciplinares y, en general, han de resolver problemas complejos que requieren la aplicación simultánea y coordinada de herramientas y conocimientos de diversas asignaturas. Así, en el conocido Informe *Tuning* [19] se recogen varias competencias relacionadas con actividades interdisciplinares. La relación más clara aparece en la competencia: “Capacidad para trabajar en un equipo interdisciplinar”, pero las actividades interdisciplinares son importantes también en otras como “Capacidad de análisis y síntesis” o “Capacidad para aplicar conocimientos en la práctica”. Sin embargo, es frecuente que las actividades interdisciplinares se dejen en los planes de estudio para los cursos superiores y, especialmente, para la realización del Proyecto Fin de Carrera. Nuestra opinión es claramente distinta. Creemos que la introducción de actividades de este tipo, de un nivel adecuado, es muy interesante ya en primer curso, y que pueden ser una herramienta importante para que los alumnos aprendan a aplicar conocimientos y herramientas de dos o más asignaturas para resolver un problema. Además, pueden realizar una función más básica todavía: que los alumnos dejen de considerar que las asignaturas son compartimentos estancos, sin relación entre ellas, y perciban desde el primer momento la coordinación entre varias materias para alcanzar unos objetivos únicos y globales. En este caso se han introducido a modo de prueba dos actividades a realizarse entre dos asignaturas de primer curso de Ingeniería Química con una gran afinidad: Experimentación en Química I y Química Inorgánica.

En la primera de las actividades, los alumnos trabajaron sobre la química de los complejos de cobre. En la asignatura Química Inorgánica los alumnos habían de discutir los conceptos de desdoblamiento de campo cristalino y fortaleza relativa de ligandos como  $H_2O$  y  $NH_3$ . Para que ello resultara más fácil y asequible, en Experimentación en Química I se introdujo una actividad en la que los alumnos preparaban los complejos de cobre con  $H_2O$  y  $NH_3$ , analizaban visualmente la diferencia de color y medían, empleando un espectrofotómetro UV-Visible los espectros de absorción de ambos

complejos, para luego estimar en el aula, en Química Inorgánica, los desdoblamientos en cada caso y la fortaleza relativa de los ligandos.

En la segunda de estas actividades interdisciplinares los alumnos trabajaron sobre una reacción química exotérmica, concretamente la hidratación del óxido de calcio para formar hidróxido, utilizada en algunas bebidas autocalentables que se comercializan en la actualidad. En Química Inorgánica los alumnos observaron la variación de temperatura que se produce experimentalmente en algunas de estas bebidas y trabajaron el balance de energía para calcular teóricamente el cambio de temperatura esperado. Como ni la reacción ni el balance de energía son simples y la energía liberada depende por ejemplo del exceso de agua utilizado en la reacción, algunos grupos de alumnos trabajaron también el tema en la asignatura Experimentación en Química I, en este caso empleando un calorímetro diseñado y fabricado por ellos para medir el calor liberado en la reacción cuando ésta se realiza en diversas condiciones experimentales. El diseño de la experiencia práctica fue realizado también por los propios alumnos.

Al ser asignaturas afines del mismo curso se consideró a priori que la introducción de actividades coordinadas en ambas resultaría más fácil para los alumnos. Sin embargo, un primer análisis de las actividades indica que no ha resultado fácil en absoluto para una gran mayoría de los alumnos, debido posiblemente a una falta de experiencia en este tipo de actividades. No obstante, la experiencia se ha valorado muy positivamente por parte de los profesores implicados.

La opinión de los alumnos sobre diversas herramientas de evaluación ha sido recogida mediante encuestas. A modo de ejemplo, la tabla 1 recoge la opinión de los alumnos de la asignatura de Química Inorgánica, en el curso 2009/10. Aparte de existir una desviación típica importante en todas las valoraciones, lo que demuestra disparidad de opiniones (y de estilos de aprendizaje) se aprecia una tendencia de los alumnos a valorar más la existencia de pruebas “clásicas” parciales. Aparte de otras valoraciones, destaca cómo hay aspectos, como el trabajo en equipo, que no consideran oportuno como “alumnos”, pero sí estiman que, si fueran profesores, deberían hacer.

*Tabla 1. Opiniones de los alumnos (n = 29) sobre este aspecto: Con mi experiencia como alumno, o pensando si yo fuera profesor, considero que los siguientes sistemas de evaluación son adecuados. Se recogen medias y desviaciones estándar. Escala de 1 (nada de acuerdo) a 5 (totalmente de acuerdo).*

	<i>Como alumno/a</i>	<i>Si fuera profesor/a</i>
<i>Examen parcial</i>	4,6 ± 0,7	4,4 ± 0,9
<i>Trabajos sobre problemas</i>	3,9 ± 1,0	4,1 ± 0,8
<i>Examen final</i>	3,8 ± 1,0	4,1 ± 0,9
<i>Cuestionarios rápidos con calificación</i>	3,3 ± 1,3	3,9 ± 1,2
<i>Cuestionarios rápidos sin calificación</i>	3,3 ± 1,3	3,7 ± 1,1
<i>Trabajos prácticos</i>	3,2 ± 1,1	3,7 ± 0,9
<i>Trabajos teóricos</i>	3,2 ± 1,2	3,6 ± 0,9
<i>Trabajos en equipo</i>	2,8 ± 1,3	3,6 ± 1,0

## Agradecimientos

Los autores desean expresar su agradecimiento a la Universidad Politécnica de Madrid, por la financiación de este trabajo dentro de los proyectos IE09053505 e Ie090520107.

## Referencias

- [1] M. Eraut, *Developing professional knowledge and competence*, The Farmer Press, London (1994).
- [2] C.D. Grant, B.R. Dickson, *Educ. Chem. Engin.*, Vol. 1, 23-29 (2006).
- [3] Real Academia Española, *Diccionario de la Lengua Española*, 22ª ed., Espasa, Madrid (2001).
- [4] P. Marquès, *Nueva cultura, nuevas competencias para los ciudadanos: La alfabetización digital: roles de los estudiantes hoy*. Universidad de Barcelona. <http://dewey.uab.es/pmarques/competen.htm>
- [5] E. Morin, *Les sept savoirs nécessaires à l'éducation du future*, UNESCO, Idile Jacob, París (1999).
- [6] M. de Miguel Díaz (Coord.), *Metodologías de enseñanza y aprendizaje para el desarrollo de competencias. Orientaciones para el profesorado universitario ante el Espacio Europeo de Educación Superior*, Alianza Editorial, Madrid (2006).
- [7] R.M. Felder, R. Brent, *Chem. Eng. Educ.* Vol. 44, 63 (2010).
- [8] ALTEC, *Advanced Learning Technologies Project at the University of Kansas Center for Research on Learning*. <http://rubistar.4teachers.org/>
- [9] I. Sierra y col., en *La Química como materia básica de los Grados de Ingeniería*, J. Martínez Urreaga y G. Pinto (Eds.), Sección de Publicaciones ETSII-UPM (2009), pp. 51-60, 187-195.
- [10] J. Martínez Urreaga, G. Pinto, *An. Quím.*, en prensa.
- [11] D.W. Jonson, R.T. Jonson, E.J. Nolubec, *El aprendizaje cooperativo en el aula*, Paidós, Buenos Aires (1999).
- [12] J. Martínez Urreaga y col., *Experimentación en Química General*, Thomson, Madrid (2006).
- [13] M.T. Oliver-Hoyo, G. Pinto, *J. Chem. Educ.*, Vol. 85, 218-220 (2008).
- [14] G. Pinto, C.V. Gauthier, *J. Chem. Educ.*, Vol. 86, 1281-1285 (2009).
- [15] M.T. Oliver-Hoyo, G. Pinto, J. Llorens, *J. Chem. Educ.*, Vol. 86, 1277-1280 (2009).
- [16] G. Pinto, M.T. Oliver-Hoyo, *Chem. Educator*, Vol. 13, 341-343 (2008).
- [17] G. Pinto, *J. Chem. Educ.*, Vol. 86, 185-187 (2009).
- [18] W.S. Harwood, *J. Chem. Educ.*, Vol. 73, 229-230 (1996).
- [19] J. González, R. Wagenaar (Eds.), *Tuning educational structures in Europe* (2003). Universidades de Deusto y de Groningen. <http://tuning.unideusto.org/tuningeu/>.