

Ingeniería Química para Graduados en Química. Reflexiones sobre un caso concreto en la Universidad de La Laguna

Francisco E. Jarabo Friedrich^a, Francisco J. García Álvarez
Departamento de Ingeniería Química - Universidad de La Laguna
38200 La Laguna (Santa Cruz de Tenerife)

RESUMEN

Los procesos de enseñanza-aprendizaje orientados a la adquisición de competencias siguen estando apoyados en metodologías didácticas que mantienen la distinción entre “teoría”, “problemas” y “prácticas de laboratorio”. Aunque se ha llevado a cabo una integración de los tres tipos de contenidos y se han adaptado a las necesidades de la titulación, en los últimos años se han detectado una serie de dificultades en cuanto a competencias relacionadas con materias básicas (Matemáticas, Física, Química). Se describen algunas de estas dificultades y se intenta identificar sus causas, que parecen ser independientes de los nuevos medios utilizados en la docencia y requieren un abordaje global.

Palabras clave: competencias, resolución de problemas, prácticas de laboratorio, conocimientos básicos.

1. INTRODUCCIÓN

Está aceptado como algo natural en las titulaciones universitarias de ámbito científico y tecnológico la distinción entre “teoría”, “problemas” y “prácticas de laboratorio”. De hecho, en numerosas ocasiones estas actividades son impartidas por distintos profesores. Dicha separación sólo parece tener una justificación administrativa y puede constituir un serio obstáculo para la renovación de muchos aspectos de los procesos de enseñanza-aprendizaje que tanto se está preconizando desde la aceptación de los paradigmas del proceso de Bolonia, que ha dado lugar incluso al concepto ambiguo de “tutoría”, muchas veces interpretado como “clases tutorizadas”.

Pero la transformación efectiva de la enseñanza habitual es algo más que el simple reconocimiento de sus carencias o de la introducción de innovaciones puntuales, tecnológicas, o ambas. Muchos autores¹ reconocen que los tratamientos puntuales resultan ineficaces y que se precisa de un replanteamiento global de gran parte del proceso de enseñanza-aprendizaje que integre coherentemente distintos aspectos hasta aquí estudiados separadamente.

Los procesos de enseñanza-aprendizaje orientados a la adquisición de competencias siguen estando apoyados en metodologías didácticas que, si bien mantienen la distinción entre las actividades mencionadas, están siendo reorientados hacia los nuevos paradigmas².

La distinción clásica entre teoría, problemas y prácticas no guarda paralelismo alguno con la actividad científico-tecnológica real, en la que estos tres aspectos aparecen absolutamente interconectados e incluso, superpuestos. La mencionada compartimentación se convierte en un obstáculo, que muestra el gran peso de tradiciones asumidas sin ser cuestionadas y que las presuntas innovaciones de los últimos años no han tenido en cuenta.

No es necesario plantear la importancia que ha de tener para el aprendizaje de conceptos (teoría) la orientación constructivista. Esta construcción no se plantea para provocar cambios conceptuales, sino para ayudar a resolver problemas de interés, que se abordan a partir de los conocimientos que poseen los alumnos y de nuevas ideas que se construyen a título tentativo.

Por otra parte, la resolución de problemas significa enfrentarse a situaciones desconocidas, ante las cuáles el alumno se puede sentir inicialmente perdido. No obstante, se incluyen datos en el enunciado como punto de partida, lo que puede

^a fjarabo@ull.es

desvirtuar en parte el concepto mismo de “problema”, pero permite elaborar posibles estrategias de resolución en función del cuerpo de conocimientos de que se dispone.

Por último, respecto a las prácticas de laboratorio, se trata de considerarlas como una ocasión de familiarizar a los alumnos con el trabajo científico y alejarse, en lo posible, de la denominada “receta”, sustituyéndola por un “manual”, que incorpore tanto las bases teóricas necesarias como los aspectos que puedan identificarse con situaciones análogas a las planteadas en un problema.

El objetivo de este trabajo es mostrar los diferentes aspectos de la integración de las tres metodologías mencionadas en una asignatura concreta del título de Grado en Química que se imparte en la Universidad de La Laguna (ULL): Ingeniería Química. Se analizarán los condicionantes administrativos de tal integración y se considerará las disfunciones detectadas en la aplicación de estas actividades formativas. Los resultados obtenidos permiten abrir un importante abanico de preguntas que será necesario abordar en trabajos de mucho más amplio contexto.

2. LA ASIGNATURA “INGENIERÍA QUÍMICA”

Según la ficha técnica de la propuesta del título universitario de grado, los contenidos formativos de la asignatura Ingeniería Química (4º cuatrimestre) tienen como objetivos la adquisición de conocimientos, capacidades y destrezas (en definitiva, competencias):

- Conocer los fundamentos **teóricos** que capacitan para la representación de los procesos industriales (equipos, operaciones unitarias).
- Seleccionar las operaciones adecuadas en diferentes situaciones **prácticas**.
- Plantear y resolver balances de propiedad para diferentes **problemas** industriales.
- Aplicar los conocimientos del comportamiento de los reactores químicos para el diseño de los mismos.

Según lo especificado en la Guía Docente, la asignatura Ingeniería Química no tiene requisitos previos para poder cursarla. Según los responsables de calidad, en principio estos requisitos no pueden ser modificados, ya que así está establecido en la documentación original de la titulación. No obstante, parece evidente que para abordar esta disciplina se necesitan conocimientos previos convenientemente consolidados³.

Completar con éxito los cálculos involucrados en un balance de materia implica tener conocimientos previos sobre estequiometría, manejar conceptos básicos sobre magnitudes y unidades o resolver convenientemente algunos sistemas de ecuaciones algebraicas simples de varias ecuaciones con el mismo número de incógnitas. Resolver adecuadamente los cálculos relativos a un balance de energía requiere estar al tanto de conceptos desarrollados por Joule y Hess, sin olvidar los necesarios estados de referencia. Por su parte, para poder abordar el cálculo básico de reactores químicos será necesario resolver algunas integrales inmediatas, mientras que el estudio descriptivo de las operaciones básicas exige poseer una cierta comprensión lectora.

Con objeto de incidir en el ámbito conceptual de los procesos químicos, se aborda la asignatura de Ingeniería Química mediante cálculos sencillos que, sin embargo, obligan a realizar un detallado análisis de las operaciones que se están llevando a cabo. En definitiva, se pretende que el alumno razone sobre el desarrollo del problema que está abordando, más que plantearlo como una serie de ecuaciones algebraicas que pueden ser resueltas con ayuda de un ordenador, pero que convierten el problema en una “caja negra”. Los problemas de Ingeniería Química, aún en sus niveles más básicos tienen una gran cantidad de variantes y su resolución exige de habilidades imaginativas y creativas para resolverlos. La única manera que hemos encontrado de enseñar a los alumnos la forma en que se resuelve el análisis de procesos es haciendo que practiquen una y otra vez, planteando un gran número de problemas, hasta que la entiendan, según señalan Felder y Rousseau⁴.

En cuanto a las prácticas, que representan el 25% de los créditos de la asignatura, ya es tradicional que se produzcan desfases entre las clases teóricas y los períodos de prácticas de laboratorio. Aunque las clases prácticas de problemas puedan ajustarse con cierta facilidad a las bases teóricas correspondientes (pese a las presiones ejercidas por algunos responsables de calidad sobre las guías docentes), la estructura grupal y temporal de los cursos hace que, en la mayoría de las ocasiones, las prácticas de laboratorio tengan que desarrollarse no coincidiendo con el correspondiente tema

teórico. Lo que es muchísimo más frecuente y, por ende, ha pasado a ser habitual, es que exista un total desfase entre teoría y prácticas, sobre todo para algún grupo de alumnos.

Desde hace ya muchos años hemos estado continuamente desarrollando contenidos, especialmente los referidos a la Ingeniería Química. Ello nos ha llevado a elaborar material didáctico en diferentes formatos (papel, electrónico), tanto para los conceptos teóricos como para los aspectos prácticos de la disciplina, en sus vertientes de problemas y prácticas de laboratorio. Entre esos aspectos prácticos destacan la importante colección de problemas que hemos ido recopilando a lo largo del tiempo y la adecuación de los manuales de prácticas a los variados requerimientos docentes y administrativos de nuestra disciplina, que ha estado presente, y sigue estándolo, en distintas titulaciones (Licenciado en Química, Ingeniero Químico, Licenciado en Ciencia y Tecnología de los Alimentos, extinguidas, Grado en Ingeniería Química Industrial, Grado en Química y Grado en Ciencias Ambientales, vigentes)^{5, 6, 7, 8, 9, 10}. La evolución de la docencia ha llevado implícita la evolución formal de los contenidos. Como se trata de contenidos básicos, sus fundamentos se han mantenido prácticamente inalterados, habiéndose adaptado a las necesidades de la titulación en la que se imparten.

No es fácil impartir una asignatura, considerada en el plan de estudios como “complementaria”, ya que este concepto se confunde a veces con el de “innecesaria” o “superflua”. Aún a riesgo de no ser objetivos, creemos firmemente que en la formación de un profesional de la Química han de contemplarse los aspectos relacionados con la producción y fabricación a gran escala (el tamaño sí es importante) que trascienden de las meras operaciones del laboratorio.

3. DISFUNCIONES DETECTADAS

Se da el caso de alumnos del Grado en Química que, por diversos motivos, durante el bachillerato no han cursado algunas de las asignaturas fundamentales para el buen seguimiento de la titulación: Química, Física, Matemáticas. A pesar de esta falta de conocimientos básicos, los alumnos se “arrastran” por la titulación, generalmente ayudados por el propio “sistema”, que por motivos económicos, de presunto prestigio (verificación de la titulación), o ambos, no desea perderlos.

Se han constatado (“evidencias”) las siguientes dificultades entre los alumnos, a título de ejemplo, pero significativas (se indica entre paréntesis las competencias presuntamente adquiridas en la enseñanza preuniversitaria):

- No alcanzan a entender los textos que se les presentan, principalmente las descripciones de aparatos, procedimientos o ambos. ¿Es un efecto secundario de la falta de ejercicios de lectura comprensiva en los niveles educativos previos? (*“Utilización de estrategias y técnicas simples en la resolución de problemas tales como el análisis del enunciado, el ensayo y error o la resolución de un problema más simple, y comprobación de la solución obtenida.”*, contenidos comunes, Matemáticas 1º, 2º, 3º y 4º de ESO¹¹).
- Cometan frecuentes errores de transcripción desde el documento que se les suministra hasta su cuaderno de trabajo. ¿Es un efecto secundario del tan frecuentemente usado “copiar y pegar”? (*“Interpretación de mensajes que contengan informaciones sobre cantidades y medidas o sobre elementos o relaciones espaciales.”* contenidos comunes, Matemáticas 1º, 2º, 3º y 4º de ESO¹¹).
- Se “creen que saben” y muchas veces desarrollan problemas bajo premisas erróneas, que les lleva a conclusiones falsas, creyendo que son correctas. ¿Es un efecto secundario debido a un defecto de atención, a una falta de reflexión o quizás a un exceso de autoestima? (*“Confianza en las propias capacidades para afrontar problemas, comprender las relaciones matemáticas y tomar decisiones a partir de ellas.”* contenidos comunes, Matemáticas 1º, 2º, 3º y 4º de ESO¹¹).
- Se obsesionan buscando la fórmula, el método o la sistemática de cálculos sencillos que frecuentemente sólo están basados en razonamientos lógicos simples, como se les indica continuamente. ¿Es un efecto secundario de la continua aplicación de rígidos protocolos en sus relaciones sociales? (*“Utilización de estrategias básicas de la actividad científica, tales como: el planteamiento de problemas y la toma de decisiones acerca del interés y la conveniencia o no de su estudio;”* contenidos comunes, Física 2º de Bachillerato¹²).
- Manejan con cierta dificultad los términos “libros”, “bibliografía” o “referencias”. ¿Es un efecto secundario de haberse convertido las bibliotecas universitarias en “salas de estudio” en las que sólo se consulta la “wikipedia”. (*“Interpretación de información de carácter científico y utilización de dicha información para formarse una*

opinión propia, expresarse con precisión y tomar decisiones sobre problemas relacionados con las ciencias de la naturaleza.” contenidos comunes, Física y Química 4º de ESO¹¹).

- Se equivocan con excesiva frecuencia al ejecutar cálculos mediante la calculadora, ya que el resultado no se corresponde con los presuntos cálculos que se desarrollan. ¿Es un efecto secundario del arrastre del dedo sobre las pantallas táctiles de los móviles? (*“Utilización de herramientas tecnológicas para facilitar los cálculos de tipo numérico, algebraico o estadístico, las representaciones funcionales y la comprensión de propiedades geométricas.”* contenidos comunes, Matemáticas 1º de ESO¹¹).
- Tienen importantes deficiencias conceptuales y básicas; muchos ignoran que 1 atmósfera equivale a 760 mm de mercurio, que 1 watio es 1 julio por segundo, que la masa atómica del azufre es 32 o que la “V” que aparece en la ecuación de estado de los gases ideales es el volumen y no la velocidad. ¿Es un efecto secundario de que no es necesario conocer la información que se encuentra disponible en internet? (*“Introducción de magnitudes adecuadas, conocimiento del significado físico de las unidades de medida y realización de estimaciones;”* contenidos comunes, Física 1º de Bachillerato¹²).
- Muestran serias dificultades en aprehender el concepto “caudal” (cantidad por unidad de tiempo; másico, molar o volumétrico), quedándose atascados en los conceptos “masa”, “mol” y “volumen”. ¿Es un efecto secundario de que en un laboratorio todo está sobre una mesa y, por tanto, no han adquirido conciencia de que, también en Química, las cosas se mueven? (*“Cantidad de sustancia y su presencia en un volumen dado de un fluido”* teoría atómica molecular de la materia, Física y Química 1º de Bachillerato¹²).
- Son capaces de dar por buenos resultados que difieren de la realidad en varios órdenes de magnitud (un tubo de 8 mm de diámetro no puede tener un radio de $4 \cdot 10^3$ metros). ¿Es un efecto secundario de haber aprendido a seguir indicaciones muy precisas y si no hay indicaciones, no hacer nada? (*“Perseverancia y flexibilidad en la búsqueda de soluciones a los problemas.”* contenidos comunes, Matemáticas 1º, 2º, 3º y 4º de ESO¹¹).
- Aunque hayan presentado un informe de prácticas que incluye representaciones gráficas, algunos días después no son capaces de elaborar por ellos mismos idénticas gráficas a partir de los datos y el papel gráfico correspondiente. ¿Es un efecto secundario de que sólo buscan el aprobado a cualquier precio y pecan de falta de honradez cuando elaboran los informes de prácticas? (*“Familiarización con las características básicas del trabajo científico: planteamiento de problemas y discusión de su interés, formulación de hipótesis, estrategias y diseños experimentales, análisis e interpretación y comunicación de resultados.”* contenidos comunes, Física y Química 4º de ESO¹¹).

Obsérvese que las referencias se han hecho a la legislación que se ha aplicado a los actuales alumnos universitarios. Como es sabido, la legislación ha cambiado¹³, pero esos alumnos afortunadamente no nos han llegado todavía.

4. REPLANTEAMIENTO DE LA METODOLOGÍA

En un intento de acercamiento al modelo integrado de las metodologías didácticas mencionadas para soslayar de alguna manera las disfunciones que se están observando en la adquisición de competencias de los alumnos, ya en el pasado curso 2014/2015 se llevó a cabo una importante modificación de los contenidos teóricos de la disciplina³. Esta adaptación ha tenido como objetivo permitir ampliar el tiempo dedicado al análisis práctico de los procesos o, lo que es lo mismo, a la resolución de problemas por parte de algunos alumnos. Seguimos manejando nuestra colección de problemas que se ha ido gestando a lo largo de muchos años, fruto de la consulta de las fuentes bibliográficas más importantes de esta disciplina, si bien nos estamos viendo abocados a utilizar aquellos que tengan una redacción más corta, para intentar paliar en lo posible parte de las disfunciones mencionadas.

En línea con lo anterior, para el curso 2015/2016 hemos hecho lo propio con las prácticas de laboratorio, para intentar paliar también las importantes disfunciones detectadas al evaluar las competencias adquiridas por los alumnos después de realizar el período de prácticas correspondiente.

Como uno de los problemas más importantes que se ha detectado está relacionado con las representaciones gráficas y éstas han de ser construidas en todas las prácticas que se lleva a cabo, fundamentalmente con escalas no lineales, se ha diseñado una primera práctica o “práctica cero” exclusivamente dedicada a que el alumno se familiarice con este tipo de gráficos, tanto en su lectura e interpretación como en su elaboración a partir de datos experimentales.

Aunque no se han modificado sustancialmente ni la estructura ni los contenidos de los manuales de prácticas de laboratorio, respecto a los que ya se han utilizado adaptados a las TIC^{5, 6, 7, 8, 9, 10}, se ha simplificado su aplicación para que pueda realizarse completamente una práctica en una sesión de 3 horas, bajo la premisa de que el alumno debe haber avanzado en la comprensión previa del manual de la práctica correspondiente antes de llegar al laboratorio. Si bien esto resulta en un planteamiento menos “abierto” para la realización de la práctica, pensamos que puede favorecer la tutorización de los alumnos y, por tanto, facilitar la consecución de las competencias que se pretende.

En los cursos anteriores se permitía a los alumnos elaborar el informe de prácticas a lo largo de la semana que transcurría entre la finalización de una sesión de laboratorio y el comienzo de la siguiente. Pero hemos comprobado que durante este trabajo el grupo (generalmente de 3 alumnos) que realiza la práctica se “dispersa”, “trocea el trabajo” y lo presenta, a veces de forma ininteligible, por falta de coordinación interna. Aunque parece que los resultados han sido algo mejores, es necesario un análisis de los resultados de más de un curso para intentar obtener conclusiones medianamente fiables.

5. CONCLUSIONES

Las preguntas formuladas en el apartado correspondiente junto con cada una de las disfunciones detectadas pueden llevar a la conclusión de que puede resultar complicado avanzar individualmente en cada asignatura para intentar que los alumnos adquieran las competencias asociadas a ella. Es decir, el abordaje de estos problemas ha de ser mucho más global, principalmente en las etapas previas de la enseñanza. Cabe destacar que las reflexiones planteadas son meramente cualitativas y no está claro que los cambios de metodología que se han ido adoptando hayan podido incidir en mejorar los resultados. Ello es debido a que las dificultades mencionadas, si bien son fácilmente apreciables, son difíciles de cuantificar debido a su diversidad por su naturaleza cambiante, pudiéndose afirmar sólo que han ido progresivamente en aumento en los últimos años, afectando a alrededor de un 10% de nuestros alumnos

De nada parecen servir las habilidades del profesor con su formación en medios, con medios y para los medios si el alumno no viene preparado con las competencias básicas que debe haber adquirido en los niveles educativos previos. Aún aplicando los criterios fundamentales de creación de contenidos (aplicabilidad al entorno, diseño formal y adaptación al medio), la receptividad de los alumnos es extremadamente baja.

En cualquier caso, en los aspectos que compete a la asignatura considerada, es necesario destacar que, bajo el punto de vista del profesorado, no se produce la disfunción entre las tres metodologías didácticas contempladas, ya que es el mismo profesor el que se encarga de la teoría, los problemas y las prácticas de laboratorio (en éstas, con ayuda de otro profesor), por lo que no existen problemas de coordinación.

No obstante, y como se ha descrito a lo largo de este trabajo, se están realizando continuos esfuerzos para lograr un mayor acercamiento al nivel cognoscitivo medio que traen los alumnos que, lamentablemente desciende todos los años. No sabemos cuál será la solución al problema, pero pensamos que parte de las medidas contempladas en la normativa de progreso y permanencia aprobadas últimamente no favorecen mucho la consecución del objetivo final que, como no puede ser de otra forma, es que el alumno adquiera las competencias adecuadas para poder ejercer la profesión para la que le habilita su título.

REFERENCIAS

- [1] D. Gil y otros, “¿Tiene sentido seguir distinguiendo entre aprendizaje de conceptos, resolución de problemas de lápiz y papel y realización de prácticas de laboratorio?”, *Enseñanza de las Ciencias*, 17(2), 311-320 (1999).
- [2] J.M. Canino y otros, “Prácticas de laboratorio en contextos de enseñanza- aprendizaje basados en competencias: dificultades y oportunidades, I Jornadas Iberoamericanas de Innovación Educativa en el ámbito de las TIC, Las Palmas de Gran Canaria, España (2014).
- [3] F.E. Jarabo y F.R. García, “Competencias en la enseñanza universitaria: una autocrítica customizada”, I Jornadas Iberoamericanas de Innovación Educativa en el ámbito de las TIC, Las Palmas de Gran Canaria, España (2014).
- [4] R.M. Felder y R.W. Rousseau, “*Principios elementales de los procesos químicos*”, 3ª ed., Limusa-Wiley, México (2004).

- [5] M.C. Díaz, F. y otros, “Nuevo material didáctico para prácticas de Química Técnica”, XX Encuentros de Didáctica de las Ciencias Experimentales, La Laguna, España (2002).
- [6] M.C. Marrero, “Aplicación de las TIC a prácticas de Operaciones Básicas en Industrias Alimentarias”, XX Encuentros de Didáctica de las Ciencias Experimentales, La Laguna, España (2002).
- [7] F. Jarabo y F.J. García, “Desarrollo de contenidos y material didáctico para Ingeniería Química en el ámbito de las TIC”, XXIX Reunión bienal de la R.S.E.Q., Madrid, España (2003).
- [8] M.C. Marrero y otros., “Ingeniería Química: manuales de laboratorio como recursos en red”, I Jornadas Canarias sobre las TIC en la Docencia Universitaria, La laguna - Las Palmas de Gran Canaria, España (2003).
- [9] F. Jarabo, y otros, “Utilización de las TIC en la docencia de prácticas”, IV Congreso Nacional de Ciencia y Tecnología de los Alimentos, Puerto de la Cruz, España (2006).
- [10] F. Jarabo y otros, “Módulos de aprendizaje para prácticas de laboratorio de Ingeniería Química”, IV Jornadas de Innovación Educativa, La Laguna, España (2013).
- [11] REAL DECRETO 1631/2006, de 29 de diciembre, por el que se establecen las enseñanzas mínimas correspondientes a la Educación Secundaria Obligatoria. (BOE 05/01/2007).
- [12] ORDEN ESD/1729/2008, de 11 de junio, por la que se regula la ordenación y se establece el currículo del bachillerato (BOE 18/06/2008).
- [13] REAL DECRETO 1105/2014, de 26 de diciembre, por el que se establece el currículo básico de la Educación Secundaria Obligatoria y del Bachillerato (BOE 03/01/2015).