

ENSEÑANZA DE LAS OPERACIONES UNITARIAS Y SUS AVANCES DISCIPLINARES: ANALISIS DE UN LIBRO DE TEXTO BÁSICO

ARESE, A. N., CASTELLS, M. del C., LUNA, M. V.,

**Facultad de Ingeniería Química. U.N.L. Santiago del Estero 2654. (3000) Santa Fe.
Te: 0342- 4571160. Int 2705. Fax: 0342-4571162. E-mail: aarese@fiq.unl.edu.ar**

Resumen

Este trabajo presenta una relación entre las transformaciones disciplinares en la Ingeniería Química, incorporadas paulatinamente en un texto clave en su enseñanza, como es el libro “Operaciones Unitarias en Ingeniería Química” de Warren Mc Cabe et al, y las representaciones de los docentes respecto de los avances en los conocimientos básicos de la Ingeniería Química.

Para ello, se realiza un análisis comparativo de prólogos e índices del citado manual en sucesivas ediciones entre 1956 y 2007 y se revisan entrevistas realizadas en profundidad a docentes del Área Operaciones Unitarias de la FIQ, focalizando nuestro análisis en los criterios que los docentes plantean para la selección bibliográfica en la enseñanza de la disciplina.

Como síntesis de estos análisis podemos decir que en la bibliografía detectamos transformaciones epistemológicas acontecidas en la Ingeniería Química que no son meras actualizaciones. Contrariamente, encontramos en los análisis de entrevistas, que todavía perduran expresiones referidas a que la bibliografía básica no cambia porque los conocimientos básicos del área no cambian. En esas respuestas se percibe a la disciplina como algo estable y permanente y se desconocen las transformaciones que acontecen en el campo científico.

Introducción:

Desde hace unos años, en la Facultad de Ingeniería Química de la Universidad Nacional del Litoral conformamos un equipo de investigación multidisciplinario integrado por Ingenieros/as Químicos dedicados a la enseñanza, una Magíster en Educación quien es Asesora Pedagógica en la Facultad de Ingeniería Química y una Profesora en Ciencias de la Educación, que llevamos a cabo una serie de proyectos en el Área de Operaciones Unitarias del Departamento de Ingeniería Química.

Actualmente estamos desarrollando el proyecto denominado: *“Didactización del conocimiento en asignaturas de las Carreras de Ingeniería: un análisis de las prácticas de enseñanza en la Facultad de Ingeniería Química de la U.N.L.”* que consiste en un análisis exploratorio del proceso de construcción de los conocimientos que se enseñan, y de las regulaciones derivadas de dicho proceso, que llevan a cabo los docentes en las Carreras de Ingeniería de la Facultad de Ingeniería Química de la Universidad Nacional del Litoral. Se indagan los significados que atribuyen los docentes a los aspectos que confluyen en la preparación didáctica del conocimiento, la articulación de dichos significados en la construcción de los contenidos, las reglas que ellos formulan en y

para esa construcción desde sus prácticas de enseñanza. Concibiendo a la enseñanza como una práctica compleja, se investiga acerca de las relaciones que los docentes establecen entre los sujetos educativos, los conocimientos disciplinares, las demandas socioinstitucionales, las demandas profesionales, así como los criterios de construcción y regulación que surgen a través de dichas relaciones.

El actual proyecto es una continuación de los recorridos de investigación que venimos desarrollando. Particularmente, el proyecto anterior se centró en comprender qué *supuestos de conocimiento científico y tecnológico* están presentes en los discursos de los docentes del área de Operaciones Unitarias de la Facultad de Ingeniería Química de la UNL. En esa ocasión, se utilizaron entrevistas en profundidad. El análisis de dichas entrevistas abrió algunos interrogantes factibles de ser retomados en el proyecto actual.

Como un primer avance para la comprensión de los procesos de didactización del conocimiento a enseñar, tomamos el “uso de la bibliografía” en la enseñanza, las representaciones de los docentes acerca de la misma y de la propia disciplina, entendiendo que en dicha relación juegan modos de construir el conocimiento a enseñar. Determinadas indagaciones hechas en este sentido, abrieron la inquietud de revisar un texto clásico en la enseñanza de la Ingeniería Química buscando sustento a lo manifestado por los docentes en las entrevistas.

Objetivos

Explorar comparativamente la letra de un texto para la enseñanza de las Operaciones Unitarias en cuanto a las transformaciones del campo disciplinar y las representaciones de los docentes al respecto.

Avanzar en el análisis de la construcción del contenido a enseñar en la carrera de Ingeniería, desde el punto de vista de las transformaciones epistemológicas acontecidas en este espacio de conocimientos.

Metodología

Este trabajo se realizó en el marco del Proyecto *“Didactización del conocimiento en asignaturas de las Carreras de Ingeniería: un análisis de las prácticas de enseñanza en la Facultad de Ingeniería Química de la U.N.L.”* que se inscribe en la línea metodológica de las perspectivas interpretativas, pues su intención es conocer cómo acontece el fenómeno a investigar en la situación concreta en que se desarrolla, incluyendo la propia interpretación que de ella tienen los sujetos investigados.

En esta oportunidad se retomaron entrevistas realizadas en profundidad a un 70 % de los docentes del Área de Operaciones y centramos el análisis en los criterios de selección de la bibliografía para la enseñanza de sus asignaturas. Como resultado del mismo encontramos una recurrencia llamativa en las respuestas de un grupo significativo de docentes. Entre ellas podemos citar: * la bibliografía básica no cambia porque los conocimientos básicos del área no se modifican; * la literatura nueva repite los mismos contenidos de la clásica sólo que de diferente forma; * la “innovación” en la bibliografía se da con la incorporación de textos más “didácticos” que facilitan la entrada del

estudiante a la disciplina; * existen “libros para investigar” y aquellos que son “para enseñar”. Los primeros no se pueden usar en la enseñanza porque son “específicos”, mientras que lo que se intenta enseñar es “amplio”; la investigación se maneja con el límite del conocimiento mientras que la enseñanza es “más limitada”, debe transmitir los conocimientos ya elaborados; * existe bibliografía “para estudiar” y otra “para el profesional”.

A partir de estas expresiones recurrentes y para confrontarlas, surgió la inquietud de analizar un libro muy utilizado en la enseñanza de la Ingeniería Química y recomendado a los alumnos como libro de estudio y consulta por parte de los docentes del Área de Operaciones Unitarias de la FIQ. En esta ocasión utilizamos la metodología de “análisis de contenido”, focalizando en los prólogos; los índices: estructura, tematizaciones y sus jerarquías, nominaciones, ejes y conceptos claves estructurantes, utilización del conocimiento matemático y el contenido de los capítulos de cuatro ediciones del libro “Operaciones Unitarias en Ingeniería Química”, de Warren Mc. Cabe et al.

En primer lugar revisamos la primera edición, de los autores Warren Mc Cabe y Julian Smith, publicada en inglés con el nombre “Unit Operations of Chemical Engineering” en el año 1956 por la Editorial: Mc Graw-Hill Book Company Inc. en los EEUU. Luego se tomó la edición del año 1968, en castellano, que es traducción de la 2º edición en inglés, de los autores Warren Mc Cabe y Julian Smith, que fuera editada en Barcelona por Editorial Reverté S. A. con el nombre “Operaciones Básicas de Ingeniería Química”. Posteriormente se analizó la traducción de la 4º edición en inglés del año 1985 de los autores Warren Mc Cabe, Julian Smith y Peter Harriot, publicada por Mc Graw-Hill en castellano en Madrid en el año 1991 como “Operaciones Unitarias en Ingeniería Química”. También se consideró la edición en castellano del año 2002, traducción de la 6º edición en inglés del año 2001, de los autores Warren Mc Cabe, Julian Smith y Peter Harriot, editada en México por Mc Graw-Hill. Finalmente se accedió a la 7º edición en castellano publicada en México por Mc Graw-Hill Interamericana en el año 2007, traducción de la 7º edición de “Unit Operations of Chemical Engineering” editada en el año 2005 por Mc Graw-Hill Companies Inc.

En la exploración del prólogo e índice, tratamos de dilucidar si se pueden detectar en ellos las transformaciones y desplazamientos que darían cuenta de una evolución histórica de la disciplina, la cual no sería reconocida por los docentes, según lo que pudimos analizar de sus dichos en las entrevistas.

Resultados

En primer lugar se tomó el prólogo e índice de la primera edición del año 1956. En el prólogo encontramos una presentación del libro como una “*introducción al estudio de las operaciones básicas*” destinado a “*estudiantes de Ingeniería Química con conocimientos medios de las ciencias básicas*”. En el índice, el contenido está organizado por capítulos que corresponden cada uno de ellos a una operación diferente: Mecánica de fluidos, Transporte de fluidos, Flujo de calor, Evaporación, Transferencia de materia, Absorción gaseosa, Destilación, Lixiviación y extracción, Cristalización, Operaciones de contacto aire-agua (humidificación), Secado. En el prólogo se justifica esta organización diciendo que, si bien las operaciones atraviesan un momento donde 1

“tienden a fusionarse”, es conveniente continuar su tratamiento en forma individual dado que *“es útil tanto en la enseñanza como en la práctica ingenieril”*.

Esta forma de organizar los conocimientos refleja el estado de la disciplina durante el 1° Paradigma de la Ingeniería Química. Se reconoce el inicio del Primer Paradigma a principios del siglo XX (1915), a partir de Arthur Little, quien estableció que la educación en Ingeniería Química debía centrarse en las *“operaciones unitarias”*, es decir, en el estudio de etapas autónomas comunes a la mayoría de los procesos industriales. De acuerdo con esto, el Ingeniero Químico debía estudiar el equipamiento principal para la fabricación de productos químicos, incluyendo su construcción y funcionamiento. Es así que uno de los criterios de recorte del contenido del libro analizado se hace teniendo en cuenta la necesidad de conocer fundamentalmente la descriptiva del equipamiento utilizado en las operaciones convencionales.

Sin embargo, simultáneamente a la publicación de la 1° edición del libro de Mc. Cabe y otros a la que hicieramos alusión, se estaban dando una serie de transformaciones en el campo de la Ingeniería Química que ponían en cuestión la hegemonía de las Operaciones Unitarias y que los autores no desconocían, pues afirman en su prólogo que es un momento donde las operaciones *“están fusionándose”*, aunque optan por continuar separándolas. De hecho, después de la Segunda Guerra Mundial comenzó a considerarse que era importante para el estudio de la tecnología de los procesos químicos, la comprensión de los fundamentos científicos de los fenómenos y procesos de transformación de la materia, apoyados en conocimientos matemáticos avanzados. En detrimento de las descripciones del equipamiento, cobran relevancia, entonces, las ecuaciones diferenciales y el álgebra matricial, así como la consideración de los fenómenos moleculares para explicar los fenómenos macroscópicos, marcando el comienzo de la Era de las Ciencias de la Ingeniería. Este período fecundó la aparición del Segundo Paradigma, hecho que acontece en los años 60 con la publicación del libro *“Fenómenos de Transporte”*, de Bird, Stewart y Lightfoot, poniéndose el acento en el estudio de los principios básicos de fisicoquímica, matemática y física, y no tanto en aspectos experimentales (cuestión que caracterizaba a las operaciones unitarias), y con una lógica distinta para el análisis y estudio de los fenómenos involucrados. El libro de Bird y otros marcaría un cambio dramático en la enseñanza de la Ingeniería Química; en el prólogo del mismo los autores manifiestan *“la necesidad de un libro de este tipo puesto que en la enseñanza ingenieril existe un interés creciente por el conocimiento de los principios físicos fundamentales en vez de la utilización de un ciego empirismo”*. El texto se presenta como *“una introducción al tema de los fenómenos de transporte [de cantidad de movimiento, de energía y de materia]. para estudiantes de ingeniería....”*, conocimientos considerados como leyes básicas indispensables en el análisis ingenieril. Esto indicaría una reformulación del campo de la enseñanza de la Ingeniería Química en tanto los conocimientos considerados básicos pasan a ser ahora los fenómenos de transporte y no las operaciones tradicionales. Desde esta perspectiva las operaciones unitarias se transforman en aplicaciones de los fenómenos de transporte.

En este sentido, podemos observar un cierto defasaje entre el campo de producción científica y la primera edición del manual que aquí se analiza, dado que mientras se están consolidando las bases del segundo paradigma, Mc Cabe y otros siguen organizando el contenido de acuerdo a las operaciones unitarias.

En el caso de la 2° edición (año 1967), el prólogo deja entrever que continúa la resistencia a abandonar el tratamiento individual de las operaciones, ya que esta forma se sigue considerando útil a los fines de la enseñanza y de la práctica profesional. Asimismo, se anticipa una disminución en la descripción de los aparatos mientras que se amplía el abordaje de temas omitidos en la 1° edición, entendido esto como una “puesta al día” de los “progresos en los fundamentos de las operaciones” aunque sin mencionar explícitamente el concepto de los fenómenos de transporte. Sin embargo el índice presenta la organización de los contenidos en 5 secciones: *Mecánica de fluidos*, *Transmisión de calor y sus aplicaciones*, *Transferencia de Materia y sus aplicaciones*, y *Operaciones en las que intervienen partículas de sólidos*, enfatiza en los fenómenos de transferencia e incluye a las operaciones tradicionales como “aplicaciones”. Este reordenamiento de los contenidos daría cuenta del 2° Paradigma, pero no es reconocido explícitamente como tal por los autores en el prólogo, que sí lo hacen en el correspondiente a la 4° Edición, del año 1985.

Es definitivamente en la 6° edición del año 2001 donde se acepta el 2° Paradigma, hecho que se visualiza en la forma de presentar los contenidos del libro, donde encontramos un mayor nivel de tratamiento matemático de los temas, utilizando ecuaciones diferenciales para balances de materia y de cantidad de movimiento (ecuación de Navier-Stokes), balance de energía (ecuación de Fourier) y balance de materia (ecuación de Fick), “poniendo énfasis además en las analogías entre la transferencia de cantidad de movimiento, calor y masa”, de acuerdo a lo manifestado por los autores en el prólogo de dicha edición. En la 7° edición, del año 2005, el libro conserva su estructura básica pero incluye ejemplos de aplicación de nuevas tecnologías para el procesamiento de alimentos, bioseparaciones, tratamiento de aguas residuales, purificación de proteínas, así como aplicaciones a fármacos y polímeros, en un intento de actualización de su contenido.

Asimismo, analizando los ejemplos y problemas nuevos incorporados en las dos últimas ediciones del libro, se vislumbraría la apertura hacia un 3° ó 4° paradigma si nos remitimos a la perspectiva de Tapias García quien sostiene que en los momentos actuales de comienzos del siglo XXI estarían surgiendo nuevos paradigmas en el campo de la Ingeniería Química, orientados hacia la solución de problemas relacionados con la protección ambiental y ciencias como la biología o los materiales.

Discusión

Recuperando las respuestas de las entrevistas, los docentes dejan entrever significaciones de la disciplina que enseñan. El significado acerca de que los conocimientos básicos no cambian se anuda a la idea de un campo disciplinar estable, sin disputas ni movimientos teóricos, metodológicos o epistemológicos. En ese sentido, las reformulaciones que aparecen en los libros se perciben como “avances” dentro de una trayectoria lineal del desarrollo investigativo. Por otra parte, en el análisis de las primeras ediciones del manual, advertimos como un dato relevante que se afirma que “a los fines de la enseñanza era más útil separar las operaciones” a pesar de que en el nicho de la producción científica los conocimientos se estaban transformando y aglutinando en torno de otros conceptos. Pensamos que esta afirmación legitima las lecturas que

realiza un grupo de los docentes entrevistados de las transformaciones del campo disciplinar.

Para comprender estas significaciones, creemos oportuno traer aquí lo enunciado por Chevallard cuando refiere a que la enseñanza genera su propia economía de saberes, desconociendo muchas veces lo que acontece en el campo de la producción científica. Creemos que esa clausura operada en el espacio de la transmisión y, en su momento, también en los manuales, encuentra su correlato en el perfil profesional atribuido al ingeniero químico, a quien se lo visualiza como un trabajador de planta industrial cuya tarea básicamente es la manipulación de equipos para la solución de problemas concretos.

Pero si volvemos al análisis de las nuevas ediciones, advertimos -si bien con un gran desfase temporal respecto de lo acontecido en el espacio de la producción del conocimiento científico-tecnológico y en el ámbito de la industria-, que ellas muestran las transformaciones que ha sufrido este campo del saber. Las nuevas perspectivas abren posibilidades que generan “objetos” de estudio antes “invisibles”, al tiempo que le permite al ingeniero contar con modelos matemáticos que lo liberan del dato empírico y del “caso” para poder hacer cálculos, diseños y simulaciones de equipos sin necesidad de hablar de operaciones o equipamientos concretos. Por otro lado, cambia la posición del futuro ingeniero en el esquema de la enseñanza, dado que con los fenómenos de transporte obtiene los fundamentos que necesita para ser un constructor de problemas y de potenciales equipamientos y no un mero “solucionador” de los primeros o un simple “conocedor” de aparatos que ya existen.

En el caso de las prácticas de enseñanza en la Facultad de Ingeniería Química de la UNL, y a partir de las entrevistas comentadas, podemos advertir que la posición que afirma que la asignatura “no cambia”, en realidad debería traducirse en la idea de que lo que no ha cambiado es una determinada forma de su enseñanza. Las diferentes perspectivas que han construido la disciplina de la ingeniería química, se han interiorizado—en términos de Bourdieu-; se han objetivado en prácticas de enseñanza y en representaciones que permiten su coexistencia, a pesar de que en el ámbito científico se suponga que una es la “superación” de la otra.

Estas tramas históricas que se tejen entre lo epistemológico, lo teórico disciplinar, lo didáctico y lo institucional, generan una relación particular entre el nicho de producción y el de enseñanza, que hace que el docente sólo pueda “leer”, interpretar, su disciplina desde la detección de estabilidades y continuidades en los conocimientos. Estos posicionamientos dificultan construir la enseñanza como un espacio donde los quiebres y cambios disciplinares sean un criterio de selección y construcción de los saberes a enseñar. En este sentido, presentar a la propia disciplina como “campo” - recuperando a Bourdieu- y no como un cuerpo estable de conocimientos, significaría no sólo una “actualización” de los saberes, sino una reformulación de los mismos para su enseñanza, a diferencia de lo dicho por los docentes entrevistados.

Por otra parte, la representación de algunos docentes de que el conocimiento disciplinar es estable, separa el espacio de la enseñanza respecto del espacio de la producción del conocimiento científico y da lugar a una simplificación, en tanto los saberes se

entienden sólo como “resultados” acabados, como conocimientos acumulativos, como meros “temas”, profundizando las distancias entre los distintos ámbitos.

Conclusiones

Sintetizando el recorrido por las diversas ediciones del manual “Operaciones Unitarias en Ingeniería Química” podemos observar una paulatina incorporación de las transformaciones disciplinares representadas por el cambio del primer al segundo paradigma, es decir, en el pasaje desde las operaciones unitarias a los fenómenos de transporte como constructos teóricos clave del campo de la Ingeniería Química. Si bien existe un desfase temporal importante entre la primer edición del libro y el estado del campo científico, no se podría sostener, tal como lo plantean los docentes en las entrevistas, que los “conocimientos” del área no cambian o que los textos presentan idénticos contenidos entre una edición y otra. Tampoco se podrían analizar los cambios efectuados por las editoriales como meras “actualizaciones”, debido a que reformulan las propias perspectivas teóricas de la disciplina, generando nuevos conceptos para comprender fenómenos que anteriormente no tenían explicación.

Las reflexiones aportadas por los profesores en ocasión de las entrevistas mencionadas, se vuelven objeto problemático de la didáctica en cuanto nos posibilitan pensar las relaciones que se construyen en una institución entre los libros de textos, las prácticas de enseñanza y el objeto de enseñanza.

Creemos que este trabajo marca una línea posible a seguir para indagar los procesos de didactización del conocimiento en la FIQ. En ella deberemos profundizar la apertura de problemas que los movimientos disciplinares, la trayectoria de formación de los docentes y los formatos editoriales, abren en la enseñanza.

Bibliografía

- Bird, B, Stewart V.E. y Lightfoot, E. (1976), *Fenómenos de Transporte*, Reverté, Bs. As.
- Bourdieu, P. (2000), *Los usos sociales de la ciencia*, Nueva Visión, Bs.As.
- Chevillard, Y. (1997), *La transposición didáctica*, Aique, Bs. As.
- Mc Cabe, W y Smith, J (1956), *Unit Operations of Chemical Engineering*, Mc Graw-Hill Book Company Inc, EEUU.
- Mc Cabe, W y Smith, J (1968), *Operaciones Básicas de Ingeniería Química*, Reverté S. A., Barcelona.
- Mc Cabe, W., Smith, J. y Harriot, P. (1991), *Operaciones Unitarias en Ingeniería Química*, Mc Graw-Hill, Madrid.
- Mc Cabe, W., Smith, J. y Harriot, P. (2002), *Operaciones Unitarias en Ingeniería Química*, Mc Graw-Hill, México.
- Tapias García, H. (1999), “Ingeniería Química: escenario futuro y dos nuevos paradigmas”, en *Rev. de Ingeniería Química*.
- Wei, J. (1996), “A century of changing paradigms in chemical engineering”, en *Chemtech*.