



Actividad práctica para el diseño industrial de procesos avanzados de separación basados en sistemas de membranas para el alumnado de Máster en Ingeniería Química

Diseño de procesos de ultrafiltración y osmosis inversa mediante el software libre *WAVE* de Dupont para el tratamiento de aguas

Dr. Reig, Mònica

Universitat Politècnica de Catalunya

Departamento de Ingeniería Química, Escola d'Enginyeria de Barcelona Est (EEBE)

C/Eduard Maristany 10.14, Campus Diagonal-Besòs, 08930 Barcelona, España

monica.reig@upc.edu

Dr. Vecino, Xanel

¹Universitat Politècnica de Catalunya

Departamento de Ingeniería Química, Escola d'Enginyeria de Barcelona Est (EEBE)

C/Eduard Maristany 10.14, Campus Diagonal-Besòs, 08930 Barcelona, España

xanel.vecino@upc.edu

²Universidad de Vigo

Departamento de Ingeniería Química, Escuela de Ingeniería Industrial (EEI) - Centro de Investigación Tecnológico Industrial (MTI)

Campus As Lagoas-Marcosende, 36310 Vigo, España

xanel.vecino@uvigo.es



MÁS ALLÁ DE LAS COMPETENCIAS: NUEVOS RETOS EN LA SOCIEDAD DIGITAL

Prof. Cortina, José Luis

Universitat Politècnica de Catalunya

Departamento de Ingeniería Química, Escola d'Enginyeria de Barcelona Est (EEBE)

C/Eduard Maristany 10.14, Campus Diagonal-Besòs, 08930 Barcelona, España

jose.luis.cortina@upc.edu

1. RESUMEN:

Se ha introducido, como mejora en una asignatura del Máster de Ingeniería Química de la *Universitat Politècnica de Catalunya*, la utilización de un software comercial de acceso libre llamado *WAVE*. Mediante este software, el alumnado puede diseñar plantas industriales, basadas en tecnologías de membrana, para el tratamiento de aguas. La actividad diseñada representa el 5% de la evaluación global de la asignatura y permite acercar al alumnado al mundo industrial, mediante un caso práctico.

2. ABSTRACT:

The use of a free-access commercial software called *WAVE* has been introduced as an improvement in a subject of the Chemical Engineering Master from the *Universitat Politècnica de Catalunya*. By means of this software, students can design industrial plants, based on membrane technologies, for water treatment. The designed activity represents 5% of the global evaluation of the subject and allows students to get closer to the industrial reality by a case study.

3. PALABRAS CLAVE: 4-6

Mejora práctica, diseño industrial, software libre, Máster Ingeniería Química

4. KEYWORDS: 4-6

Practical improvement, industrial design, free software, Chemical Engineering Master



5. DESARROLLO:

INTRODUCCIÓN:

El Máster en Ingeniería Química que se imparte en la *Escola d'Enginyeria Barcelona Est (EEBE)*, ofrece una capacitación avanzada para el alumnado que quiera ejercer como ingeniero/a en el mundo industrial. Aun así, muchas de las asignaturas que se imparten, están basadas, principalmente, en clases teóricas, las cuáles no facilitan el desarrollo práctico del alumnado, el cual sin embargo se les exigirá en su futuro profesional ya sea en la industria, empresa, centros de investigación, universidades o administraciones públicas.

Esta comunicación, se focaliza en la introducción de un software de comercialización libre, *WAVE* de la empresa *Dupont*, en una asignatura del Máster de Ingeniería Química, que permite diseñar plantas industriales para el tratamiento de aguas mediante la simulación y el cálculo de parámetros.

En concreto, este software se ha aplicado durante el curso 2018-19 en la asignatura de Operaciones Avanzadas de Separación del Máster en Ingeniería Química del plan 2016-17 ("Pla d'estudis Màster Universitari en Enginyeria Química," 2016), y en la asignatura *Membrane Processes and Technologies* del nuevo Máster de Ingeniería Química que se inició en el curso 2019-20 ("Master's degree in Chemical Engineering," 2019).

En ambos planes, la asignatura (6 ECTS) se imparte en el 2º cuatrimestre y tiene como objetivo desarrollar diferentes tecnologías avanzadas para el tratamiento de sólidos, líquidos y gases, consiguiendo la separación y valorización de sus componentes, siguiendo un esquema de economía circular (European Commission, 2015). Hasta el curso 2018-19, estas asignaturas se basaron, principalmente en clases teóricas, resolución de ejercicios en el aula y la entrega de un trabajo final en grupo (4-5 personas). El objetivo de dicho trabajo era proponer un tren de tratamiento mediante las tecnologías introducidas en la asignatura, apoyándose en la bibliográfica científica. Mediante dicho trabajo, se pretendía que el alumnado se acercara a un caso práctico de la industria de la Ingeniería Química. Sin embargo, no dejaba de ser un estudio bibliográfico, por lo que en el curso 2018-19, se propuso la incorporación de actividades prácticas con carácter industrial para una mejora de la asignatura. De hecho, Bishop y Vergler concluyeron que las sesiones con orientación práctica permiten la fácil introducción del aprendizaje basado en problemas (Bishop & Verleger, 2013). Además, también se ha demostrado que las sesiones con orientación práctica refuerzan las habilidades de resolución de problemas y promueven un aprendizaje duradero (Marra, Jonassen, Palmer, & Luft, 2014; Woods et al., 1997), así como que tienen una influencia positiva en el alumnado (Davidson, Major, & Michaelsen, 2014).



MÁS ALLÁ DE LAS COMPETENCIAS: NUEVOS RETOS EN LA SOCIEDAD DIGITAL

Concretamente, en esta comunicación se desarrollará la metodología usada en una actividad práctica para el empleo de un software de comercialización libre *WAVE* de la empresa *Dupont*, que permite diseñar plantas industriales para el tratamiento de aguas, mediante procesos avanzados de separación basados en membranas.

OPERACIONES AVANZADAS DE SEPARACIÓN:

Según la guía docente de la asignatura, la principal competencia de la titulación a la cual contribuye la asignatura es la de que el alumnado adquiera las habilidades del aprendizaje autónomo para mantener y mejorar las competencias propias de la Ingeniería Química, que permitan el desarrollo continuo de la profesión (“Pla d’estudis Màster Universitari en Enginyeria Química,” 2016). La asignatura se divide en tres grandes bloques. Uno de ellos es el que trata los procesos de separación con membranas, que es donde se introduce la mejora que se presenta en esta comunicación. En este bloque de la asignatura, se pretende que el alumnado adquiera los fundamentos de las operaciones avanzadas con membranas, los métodos de cálculo y el diseño de equipos. Para ello, en primer lugar, se explican las definiciones básicas de membrana, su estructura, configuraciones, ... A continuación, se explican los mecanismos de transporte, parámetros de los procesos, clasificación, Finalmente, se demuestran las aplicaciones, como por ejemplo la ósmosis inversa y la ultrafiltración, entre otras. Así pues, en la séptima clase del curso, se ponen en práctica los conocimientos adquiridos durante las sesiones teóricas previas, mediante el empleo del software *WAVE*, de *Dupont*. En otras palabras, el objetivo de esta sesión es la aplicación del software para el aprendizaje práctico de los conceptos teóricos explicados previamente en clase, concretamente para el diseño de una planta industrial basada en dos procesos avanzados de separación basados en sistemas de membrana: ultrafiltración y osmosis inversa.

Así pues, este caso práctico les ayudará a aplicar el método científico en la resolución de problemas prácticos, relacionados con los procesos de separación avanzados en el ámbito de la ingeniería química, concretamente en el diseño de equipos de separación mediante membranas, a la vez que les ayudará a comprender, de manera práctica e intuitiva, los fundamentos teóricos de los equipos estudiados y sus aplicaciones en el mundo industrial.

METODOLOGÍA DOCENTE:

Como se ha comentado, antes de llevar a cabo la sesión práctica, se explica la teoría relacionada y se resuelven problemas de ejemplo en clase. Durante las sesiones teóricas, el alumnado debe entender las definiciones y el empleo de tecnologías de separación por membranas, así como ser capaz de resolver problemas prácticos, con la ayuda de la calculadora. Entonces, se les propone el enunciado de la práctica (Figura 1) a realizar mediante *WAVE* de *Dupont*, el cual se emplea en la industria de la Ingeniería Química



MÁS ALLÁ DE LAS COMPETENCIAS: NUEVOS RETOS EN LA SOCIEDAD DIGITAL

para el diseño de equipos de tratamiento de aguas mediante sistemas de membranas. Se trata de un software de comercialización libre el cual se puede descargar desde su página web, y por la tanto, todo el alumnado puede disponer de él (Dupont - Water Solutions, 2020).

El objetivo de la actividad es el diseño de una ampliación en una planta potabilizadora para poder satisfacer la demanda de agua, mediante un tren de tratamiento compuesto por ultrafiltración, seguido de osmosis inversa. Para poder trabajar mediante el software, el alumnado dispone de la composición del agua a tratar y de algunos requisitos de los sistemas de membrana empleados. Como ejemplo, la Figura 2 muestra una de las pantallas del software empleado. En esta pantalla, se determina la configuración general del sistema: se fijan las unidades de caudal, presión, temperatura y flujo con las que se quiere trabajar. Además, se debe fijar el caudal de entrada al sistema o el caudal de agua producida, así como el tipo de agua de trabajo. Finalmente, se deben determinar las tecnologías que se requieren para el diseño de la planta industrial.

Para promover el trabajo autónomo, en primer lugar, se les solicita una actividad previa que requiere de una búsqueda bibliográfica para ampliar los conocimientos que se han desarrollado previamente en las sesiones teóricas, así como unos cálculos que el alumnado debe realizar, siguiendo las indicaciones y explicaciones de las clases teóricas. Esta entrega es individual y la misma para todos los alumnos (tiempo de dedicación 1h). Una vez cada alumno ha procesado la información y ha obtenido los resultados y/o respuestas de cada una de las preguntas, el trabajo previo debe ser entregado a través de la intranet (ATENEA) de la Universidad ("Campus Virtual UPC," 2020), previamente a la sesión práctica (el alumnado dispone de una semana para poder realizar el trabajo previo). Antes de la sesión en el aula, el profesor/a, ofrece un feedback al alumnado. Una vez evaluada la actividad previa, se proponen nuevas preguntas para resolver en el aula (durante 3h) mediante el uso del *WAVE*. En este caso, los alumnos que lo deseen pueden formar parejas, a su elección, y realizar la actividad práctica en clase de dos en dos, o bien individualmente.

Una vez contestadas las preguntas propuestas en el aula, el alumnado debe entregar un informe (Figura 3), dónde se plantean cuestiones relacionadas con la práctica realizada, para poder evaluar si el alumnado es capaz de utilizar el software. Finalmente, el profesorado retorna el informe con el feedback y su evaluación en un plazo de 15 días.

EVALUACIÓN DE LA ACTIVIDAD:

La actividad, la cual representa un 5% del total de la asignatura, se evalúa teniendo en cuenta la actividad previa (40%) y la realizada en el aula (60%). Las respuestas numéricas se evalúan con un 1 si son correctas o con un 0 si no lo son. El trabajo en el aula mediante *WAVE* se evalúa de forma independiente al previo. En este caso (trabajo en el aula), el



MÁS ALLÁ DE LAS COMPETENCIAS: NUEVOS RETOS EN LA SOCIEDAD DIGITAL

alumnado puede trabajar en parejas o individualmente, y el profesorado presta ayuda sobre el funcionamiento del software o sobre cuestiones de conocimientos teóricos. Una vez finalizada la clase, el alumnado debe entregar un documento donde se resuelven las cuestiones y un informe final proporcionado por el programa *WAVE*, en el que se muestran los valores de cada uno de los parámetros para el diseño de ambos sistemas de membrana (ultrafiltración y osmosis inversa). Las respuestas numéricas sobre las cuestiones planteadas por el profesorado se evalúan de la misma forma que para el previo (1 si son correctas o 0 si son incorrectas), mientras que el informe del *WAVE* es corregido por el profesor/a mediante comentarios, para que el alumnado pueda detectar los fallos cometidos en la obtención de los resultados.

RESULTADOS Y CONCLUSIONES:

Una vez se llevó a cabo la actividad propuesta como mejora, primeramente, se analizó el porcentaje del alumnado que realizó el trabajo previo, siendo de un 47,8% (ver Figura 4). El total de matriculaciones en la asignatura fue de 23 estudiantes, así pues, menos de la mitad del alumnado matriculado en la asignatura realizó el trabajo previo: 11 estudiantes lo realizaron, mientras que los/las otros/as 12 no lo entregaron. Por lo tanto, como esta parte representa el 40% de la evaluación de la actividad, el porcentaje de alumnado que aprobó la actividad (previo + trabajo en el aula) fue menor del 100%, resultando un 73,9% (Figura 5): 17 estudiantes aprobaron, mientras que 6 no lo hicieron. Sin embargo, el porcentaje de aprobados, de los que presentaron el trabajo previo fue del 100%, con una nota máxima de 8,9. Asimismo, el análisis de los resultados de la actividad realizada en el aula mostró que el alumnado que no entregó el previo, no superó la nota de 5,6. Cabe destacar, que casi el 100% del alumnado realizó el trabajo en el aula, ya fuera individualmente o por parejas (solo un alumno no se presentó). De hecho, se formaron 12 grupos (formados por parejas o bien individuales), aunque las notas finales no fueron las mismas para todos los miembros de cada pareja, ya que no todos ellos habían entregado el trabajo previo.

Como resumen, la Figura 6 muestra el valor de las notas del alumnado matriculado en la asignatura (23 estudiantes), desglosadas según su valor en el trabajo previo, en el trabajo en clase y su nota final de la tarea del *WAVE*. En esta gráfica se puede ver como los/las estudiantes que realizaron el trabajo previo, obtuvieron mejores notas globales de la tarea, mientras que el alumnado que suspendió (nota global), fue quien no había entregado el trabajo previo.

Así pues, se puede concluir que la actividad, utilizando el software comercial *WAVE* para diseñar plantas de tratamiento de agua mediante sistemas de membrana, permite acercar al alumnado a un caso real. El trabajo en clase es muy útil para entender el funcionamiento del software y resolver dudas, tanto teóricas como de diseño, ya que el profesorado va resolviendo las dudas que van surgiendo. Además, la actividad previa es



MÁS ALLÁ DE LAS COMPETENCIAS: NUEVOS RETOS EN LA SOCIEDAD DIGITAL

imprescindible para que la actividad en el aula pueda resultar más productiva y obtener mejores rendimientos académicos. Por este motivo, se debería potenciar la implicación del alumnado en el previo, haciendo que este fuera un requisito obligatorio para la realización de la actividad práctica.

AGRADECIMIENTOS:

Los autores agradecen el soporte por parte de la profesora María R. Martínez Martínez del Departamento de Ingeniería Química de la UPC en la realización de este artículo.



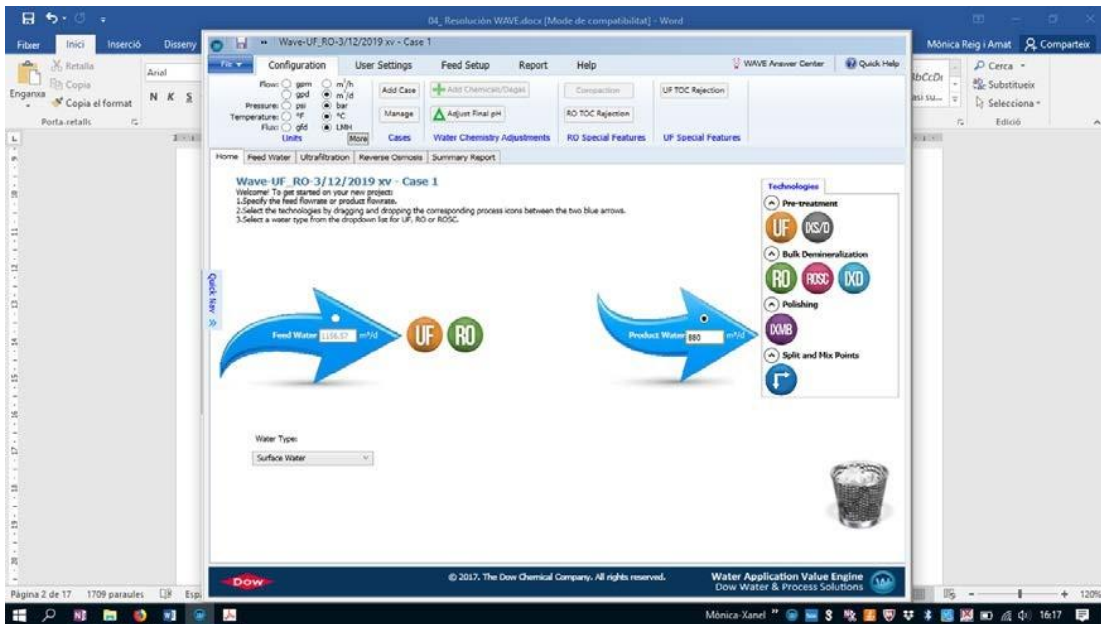
MÁS ALLÁ DE LAS COMPETENCIAS: NUEVOS RETOS EN LA SOCIEDAD DIGITAL

5.1. FIGURA O IMAGEN 1: ENUNCIADO DE LA PRÁCTICA

ENUNCIADO:

Se propone diseñar una ampliación en una planta potabilizadora para poder satisfacer la previsible demanda de agua. Para ello, se planifica instalar una línea de tratamiento basada en una unidad de membranas de ultrafiltración (UF) seguida de otra de membranas de osmosis inversa (OI). De esta manera, no sólo se pretende aumentar la producción, sino también satisfacer a una población cada vez más exigente con la calidad del agua y, a la vez, garantizar el cumplimiento de las legislaciones referentes a la calidad de agua potable.

5.2. FIGURA O IMAGEN 2: PRIMERA PANTALLA DEL SOFTWARE WAVE





MÁS ALLÁ DE LAS COMPETENCIAS: NUEVOS RETOS EN LA SOCIEDAD DIGITAL

5.3. FIGURA O IMAGEN 3: INFORME PARA LAS RESPUESTAS DEL TRABAJO EN EL AULA

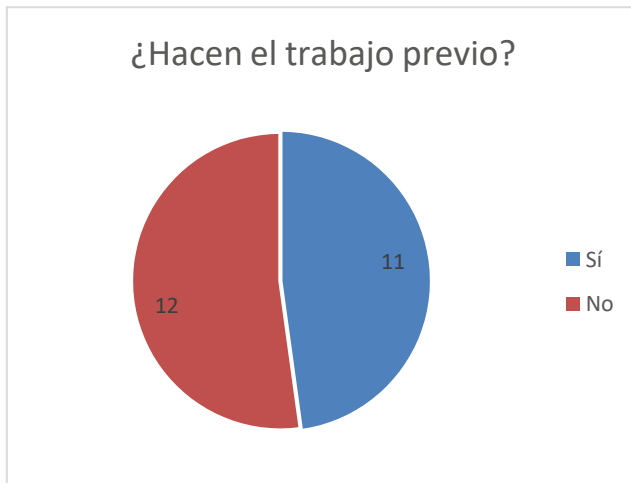
Para poder llevar a cabo la construcción de la nueva línea de tratamiento se deben resolver las siguientes preguntas:

- 1) Empleando el programa WAVE, ¿pueden estimarse los siguientes valores de la etapa de UF?
 - a) Caudal que deberá tratar el sistema de UF
 - b) Porcentaje de recuperación mediante la unidad de UF
 - c) Valor de TDS después de la UF
- 2) Empleando el programa WAVE, ¿pueden estimarse los siguientes valores de la etapa de OI?
 - a) ¿Es posible llegar a los requerimientos de $SDI \leq 2,5$ en la entrada de OI, tras el paso del agua por UF?
 - b) Caudal de alimentación tratado por el sistema
 - c) Presión de alimentación
 - d) Contenido de TDS en el permeado del sistema
 - e) Contenido de TDS en el rechazo del sistema
 - f) Energía específica (kWh/m^3)
 - g) ¿Qué comprobación se podría llevar a cabo para saber si el software WAVE calcula correctamente el % de recuperación en cada etapa y para cada elemento?
- 3) Para la disposición propuesta de OI, y empleando el software WAVE, ¿es de esperar que se forme algún precipitado en las membranas? De ser así, ¿cuál? ¿Qué medidas se podrían tomar para evitar la precipitación?
- 4) Si en el primer informe del WAVE ha habido una alerta por precipitación, volver al programa y hacer de nuevo la simulación adicionado los químicos necesarios para evitar esta precipitación. ¿Cuál es el nuevo LSI?

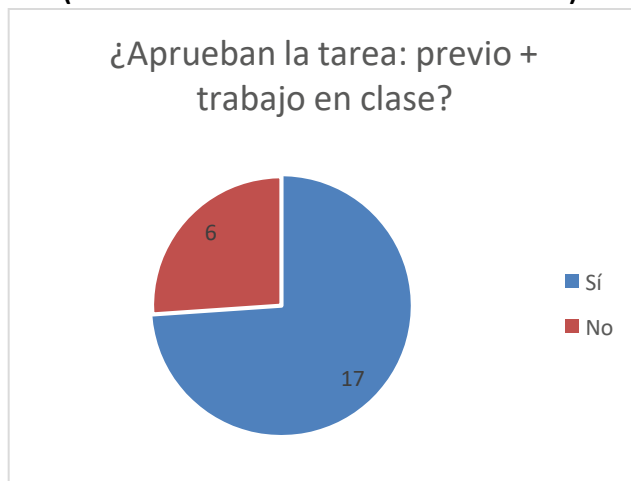


MÁS ALLÁ DE LAS COMPETENCIAS: NUEVOS RETOS EN LA SOCIEDAD DIGITAL

5.4. FIGURA O IMAGEN 4: PORCENTAJE DEL ALUMNADO QUE ENTREGÓ EL TRABAJO PREVIO



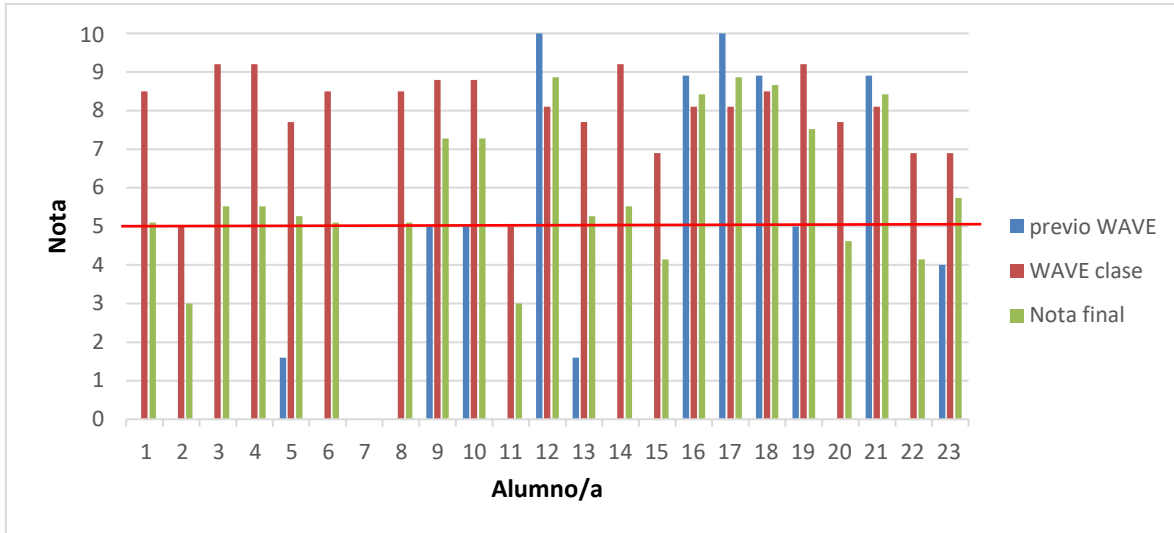
5.5. FIGURA O IMAGEN 5: PORCENTAJE DE ALUMNADO APROBADO EN LA TAREA DE WAVE (TRABAJO PREVIO + TRABAJO EN EL AULA)





MÁS ALLÁ DE LAS COMPETENCIAS: NUEVOS RETOS EN LA SOCIEDAD DIGITAL

5.6. FIGURA O IMAGEN 6: NOTAS PREVIAS, NOTAS EN EL AULA Y NOTAS FINALES SEGÚN CADA ALUMNO/A (LA LÍNEA HORIZONTAL INDICA EL VALOR DEL APROBADO (NOTA=5))





6. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS (según normativa APA)

- Bishop, J. L., & Verleger, M. (2013). The flipped classroom: a survey of the research. In *120th ASEE Annual Conference & Exposition* (pp. 23.1200.1-23.1200.18). Atlanta, Georgia, USA.
- Campus Virtual UPC. (2020). Retrieved January 23, 2020, from <https://atenea.upc.edu/login/index.php>
- Davidson, N., Major, C. H., & Michaelsen, L. K. (2014). Small-group learning in higher education—cooperative, collaborative, problem-based, and team-based learning: an introduction by the guest editors. *Journal on Excellence in College Teaching*, 25(3–4), 1–6.
- Dupont - Water Solutions. (2020). WAVE Software for Water Treatment Plant Design. Retrieved January 23, 2020, from <https://www.dupont.com/water/resources/design-software.html>
- European Commission. (2015). Moving towards a circular economy. *Circular Economy Strategy. Roadmap*, 1–9.
- Marra, R., Jonassen, D. H., Palmer, B., & Luft, S. (2014). Why problem-based learning works: Theoretical foundations. *Journal on Excellence in College Teaching*, 25(3–4), 221–238.
- Master's degree in Chemical Engineering. (2019). Retrieved January 23, 2020, from <https://eebe.upc.edu/ca/estudis/estudis-de-master/master-chemical-engineering-smart-chemical-factories/nou-pla-estudis-master-enginyeria-quimica>
- Pla d'estudis Màster Universitari en Enginyeria Química. (2016). Retrieved January 23, 2020, from <https://eebe.upc.edu/ca/estudis/estudis-de-master/master-en-enginyeria-quimica-en-extincio/pla-destudis>
- Woods, D. R., Hrymak, A. N., Marshall, R. R., Wood, P. E., Crowe, C. M., Hoffman, T. W., ... Bouchard, C. G. K. (1997). Developing Problem Solving Skills: The McMaster Problem Solving Program. *Journal of Engineering Education*, 86(2), 75–91.



MÁS ALLÁ DE LAS COMPETENCIAS: NUEVOS RETOS EN LA SOCIEDAD DIGITAL

<https://doi.org/10.1002/j.2168-9830.1997.tb00270.x>