

Enseñanza basada en problemas aplicada a la ingeniería química. Análisis bibliométrico: estudio comparativo de Scopus y WoS

Oliver Díaz, Elisabet Segredo-Morales & Enrique González

Departamento de Ingeniería Química y TF, Universidad de La Laguna, San Cristóbal de La Laguna, España
odiazlop@ull.edu.es, esgredm@ull.edu.es, eglezc@ull.edu.es

Resumen— La convergencia al Espacio Europeo de Educación Superior requiere la introducción de nuevas metodologías docentes con el fin de fomentar el autoaprendizaje, la adquisición de competencias profesionalizantes y la transmisión de conocimientos. La enseñanza basada en problemas es un método de innovación docente que permite que los estudiantes adquieran, estructuren y sinteticen de manera colectiva nuevos conocimientos que aplican ante casos reales. La enseñanza basada en problemas en el área de la ingeniería química comenzó a finales del siglo XX, sin embargo, la aplicación de este tipo de metodología no está completamente generalizada. Este trabajo presenta un estudio bibliométrico sobre la utilización de la enseñanza basada en problemas en la ingeniería química utilizando las dos principales bases de datos actuales (Scopus y WoS). Se han encontrado un total de 113 y 89 documentos en Scopus y WoS, respectivamente. Existe una mayor prevalencia de participaciones en congresos, frente a otros medios de publicación y el lenguaje mayoritario es el inglés. La mayor producción científica sobre el campo analizado se encuentra en Estados Unidos, aunque existe un interés generalizado en los cinco continentes. El análisis de las palabras clave muestra un creciente interés por la motivación del alumnado y por la enseñanza activa dirigida a aspectos prácticos y profesionalizantes claves en la enseñanza de la ingeniería química.

Palabras Clave— enseñanza, estudio bibliográfico, innovación educacional, enseñanza industrial, motivación.

Recibido: 30 de noviembre de 2021. Revisado: 22 de marzo de 2022. Aceptado: 31 de marzo de 2021.

Problem-based learning applied to Chemical Engineering.
Bibliometric analysis: comparative study of Scopus and WoS

Abstract— Convergence to the European Higher Education Area requires the introduction of new teaching methodologies to promote self-learning, the acquisition of professional skills and the transmission of knowledge. Problem-based Learning is a method of educational innovation that allows students to collectively acquire, structure and synthesize new knowledge that they apply to real cases. Problem-based learning applied to Chemical Engineering began at the end of the 20th century, however, the application of this kind of methodology is not completely generalized. This paper presents a bibliometric study on the use of problem-based learning in Chemical Engineering by two main databases (Scopus and WoS). A total of 113 and 89 documents have been found in Scopus and WoS, respectively. There is a higher prevalence of participation in congresses compared to other publication media and the majority language is English. The largest scientific production on the analyzed field is found in the United States, although there is widespread interest in the five continents. The analysis of the keywords shows a growing interest in student motivation and active teaching aimed at key practical and professional aspects in the teaching of Chemical Engineering.

Keywords— Learning, bibliographic analysis, educational innovation, industrial learning, motivation

1 Introducción

La titulación oficial de ingeniero químico surge en España en el marco establecido en la Ley de Reforma Universitaria que permitió el desarrollo de los nuevos estatutos de las universidades,

la creación de áreas de conocimiento y la potenciación de los departamentos. En 1992 se publicó el RD 923/1992 (BOE núm. 206, de 27.08.1992), por el que se establecía el título oficial de ingeniero químico y las directrices generales propias de los planes de estudios que deben cursarse para la obtención del mismo. A partir de entonces se han producido diferentes cambios en la enseñanza de la ingeniería química ajustando los planes de estudios y las metodologías al momento actual. La convergencia al Espacio Europeo de Educación Superior ha exigido nuevos retos docentes en busca de innovaciones didácticas, sistemas alternativos de evaluación y diseño de nuevas actividades [1].

Los nuevos espacios educativos buscan estar basados en tres pilares fundamentales: el aprendizaje basado en adquisición de competencias para el ejercicio profesional [2], el fomento del autoaprendizaje y autogestión del alumno [3] y la transmisión de hábitos que fomenten los conocimientos adquiridos [4]. Alcanzar estos pilares requiere de la implantación de nuevos sistemas metodológicos que sustituyan a los sistemas tradicionales. La enseñanza mediante grupos reducidos y el aprendizaje basado en problemas son considerados por los profesionales docentes como los métodos que poseen mayor potencial flexibilidad y adaptabilidad a las necesidades del Espacio Europeo de Educación Superior [1].

La enseñanza basada en problemas se construye sobre un marco socio-constructivo de aprendizaje [5], que se basa en proponer a los estudiantes un problema abierto sin una solución obvia. En este escenario los alumnos en un periodo docente guiado deben planificar el camino para encontrar e implementar una solución. La implantación de este tipo de metodología permite que los estudiantes adquieran, estructuren y sinteticen de manera colectiva nuevos conocimientos que aplican ante casos reales [6], además de asimilarlos de una manera más efectiva [7].

El rol del docente en esta metodología innovadora de educación es el de ser un facilitador con responsabilidad de crear y/o diseñar un entorno de enseñanza donde los estudiantes puedan tomar la iniciativa, gestionar su propio proceso de aprendizaje y explorar el tema analizado [6]. La implantación de este sistema implica un cambio para el docente ya que su papel es totalmente contrario al de un sistema tradicional [8], [9].

La enseñanza basada en problemas busca que los estudiantes, mediante la resolución de casos realistas y complejos, sean capaces de adquirir los conocimientos necesarios e interioricen

la aplicabilidad de los mismos. Evidentemente, la enseñanza basada en problemas requiere facilitar y promover la motivación y el compromiso de los estudiantes, para alcanzar que éstos se beneficien plenamente de la experiencia [6].

La enseñanza basada en problemas en el área de la ingeniería química comenzó a finales del siglo XX [10], [11]. Durante la corta vida del método de enseñanza basado en problemas como sistema de innovación docente en la ingeniería química se ha demostrado que se favorecen las habilidades de administración de tiempo, liderazgo, comunicación y respeto, además de incrementar el impacto de la asignatura sobre el alumnado en la interiorización de conceptos clave [12]. En los últimos años la utilización de la enseñanza basada en problemas comienza a ser muy habitual en los planes de estudio de las enseñanzas de ingeniería, por ejemplo, en la Universidad de Minho (Portugal) se implantó un sistema multidisciplinar en el primer año del plan de estudios del Máster de Ingeniería y Gestión Industrial [12], [13]. En la Universidad de Brasilia (Brasil) se emplea esta metodología en el último curso del Máster en Ingeniería Química [15] y en la Universidad de Sevilla se ha empleado para el diseño y desarrollo de un proyecto de una planta piloto [16].

Muchos autores han remarcado la utilidad de la enseñanza basada en problemas en asignaturas prácticas de laboratorio ya sea en asignaturas de primer curso de Ingeniería Química analizando conceptos básicos relativos a la seguridad en los laboratorios y procedimientos experimentales [17] o en asignaturas prácticas de laboratorio avanzadas y específicas [18].

La enseñanza basada en problemas también ha sido testada en asignaturas teóricas de los planes de estudio de ingeniería química. Los autores ponen de manifiesto la necesidad de crear grupos de trabajo y de realizar un seguimiento detallado del docente para que la experiencia didáctica sea plena [19].

En muchos de los casos la enseñanza basada en problemas ha permitido trasladar casos reales propuestos por compañías locales a estudiantes de Ingeniería Química [20] o implantarse simulaciones de instalaciones industriales permitiendo al alumnado caracterizarlas y optimizarlas [21].

En todos los casos analizados los resultados de adquisición de competencias transversales y específicas se han incrementado dado el carácter inminentemente práctico de un título como el de Ingeniero Químico. Además, estos resultados son extrapolables a otras ramas de la ingeniería, por ejemplo, en 2004, la Universidad de Sidney propuso un curso de “Ingeniería Verde” que, de una manera transversal, y utilizando la metodología basada en problemas, permitió analizar diferentes problemas medioambientales alcanzado un elevado grado de satisfacción entre el alumnado [22].

La enseñanza basada en problemas no solo ha permitido incrementar la adquisición de competencias a los estudiantes de Ingeniería Química, sino que muchos autores han reportado el incremento del rendimiento de los alumnos y una reducción de las tasas de abandono [23], [24].

Pese a todos estos casos de éxito, la aplicación de este tipo de metodología no está completamente generalizada en la enseñanza de la Ingeniería Química por lo que es necesario un análisis del interés de la comunidad científico/docente.

El análisis bibliométrico es una de las principales herramientas para comprender y analizar las perspectivas y el interés de la comunidad científica sobre un determinado tema [25]. Según Prithchard (1969) [26], se trata de aplicar métodos matemáticos y estadísticos para analizar la literatura de carácter científico, así como los autores que la generan. Actualmente, esta definición se ha ampliado al análisis de países, revistas relacionadas y otros aspectos importantes como la utilización de palabras clave [27]. En los últimos años los estudios bibliométricos han experimentado un gran crecimiento [28]. El crecimiento exponencial de este tipo de técnica es consecuencia de la mayor disponibilidad y accesibilidad de software específico y bases de datos científicas digitalizadas que, además, permiten manejar de una manera sistemática grandes volúmenes de datos científicos [29]. El análisis bibliométrico es útil para descifrar y mapear el conocimiento científico acumulativo y detectar tendencias de innovación. En otras palabras, los estudios bibliométricos pueden sentar firmes bases para avanzar en un campo concreto ya que permiten obtener una visión general del campo estudio [29].

En este manuscrito se presenta una indagación que tuvo por objetivo realizar un estudio bibliométrico sobre la metodología de enseñanza basada en problemas aplicada a la ingeniería química utilizando las dos principales bases de datos existentes Scopus y Web of Science.

2 Materiales y método

En este estudio se presenta un análisis bibliométrico con una cobertura sin limitación temporal realizada en octubre de 2021. Las bases de datos seleccionadas para el estudio son Scopus y Web of Science (WoS).

Scopus es una de las mayores bases de datos bibliográficas revisada por pares, perteneciente a la empresa Elsevier y que tiene una cobertura activa con más de 25.000 títulos de más de 5.000 editoriales internacionales en los campos de la ciencia, tecnología, medicina, artes y humanidades. Además, posee uno de los registros más antiguos digitalizados anteriores a 1970 con un total de 77,8 millones de contribuciones [30]. WoS es la base de datos independiente más grande del mundo. La colección posee más de 21.100 títulos indexados con revisión por pares en más de 250 disciplinas de las ciencias, humanidades y artes. [31]. Ambas bases de datos contribuyen de manera significativa y son esenciales para el apoyo a la investigación y el reconocimiento de los esfuerzos y avances realizados por la comunidad científica y tecnológica. Se seleccionaron ambas bases de datos porque en determinadas disciplinas son complementarias y los datos obtenidos conjuntamente permiten tener una visión amplia sobre el tema analizado pese al solapamiento en sus coberturas. Numerosos estudios han demostrado que el uso de un único motor de búsqueda puede introducir sesgos que generan una pérdida de información [32], [33].

Para la elección de los términos de búsqueda se han escogido aquellos con mayor valor descriptivo dentro de cada registro y que, además son comunes a ambas bases de datos. Los campos utilizados son título, resumen y palabras clave. En la Tabla 1, se detalla la ecuación de búsqueda empleada. Las

palabras clave seleccionadas fueron los términos anglosajones “*Problem-based learning*” y “*Chemical Engineering*” debido a que la mayoría de publicaciones se redactan en inglés. Una vez realizada la búsqueda en las dos bases de datos se aplicaron filtros para eliminar documentos que no eran propiamente resultados de la enseñanza basada en problemas aplicada a la ingeniería química.

Tabla 1
Procedimiento para la búsqueda de documentos en las bases de datos

Base de datos	Ecuación de búsqueda	N° Documentos	
		Original	Filtrado
Scopus	TITLE-ABS-KEY (problem-based learning) AND TITLE-ABS-KEY (chemical engineering)	122	113
WoS	TOPIC (problem-based learning) AND TOPIC (chemical engineering)	120	89

Fuente: Los autores.

Para hacer el análisis de los resultados se empleó Microsoft Excel y para ilustrar las redes de co-ocurrencia se empleó VOSviewer (versión 1.6.17). El índice de impacto de las fuentes de publicación se ha analizado mediante el Scimago Journal and Country Rank (SJR) que permite analizar el impacto proporcionado por las fuentes y las citas de Scopus.

Los análisis bibliométricos realizados para las publicaciones relacionadas con la metodología docente basada en problemas aplicada la ingeniería química son: las características de la publicación (tipo y cantidad con respecto al total, idioma de publicación, año, publicaciones por año y ratio autores-publicación por año), rendimiento de los autores, análisis de países y un análisis de las palabras clave. Además, el estudio se complementó con la Ley de Lotka en los análisis de autores y revistas.

3 Resultados

Los resultados del análisis bibliométrico se han agrupado teniendo en cuenta los cuatro grupos que permiten analizar la productividad y el estado del arte de la docencia basada en problemas en la enseñanza de la ingeniería química. En el primer grupo se analiza el tipo de publicación y su temporalidad, en el segundo grupo el medio de publicación, en el tercer grupo los autores y en el último las citas y las palabras claves.

3.1. Productividad: unidades de análisis y temporalidad

El número de contribuciones relativas a la enseñanza basada en problemas en el área de la ingeniería química asciende a 202, teniendo en cuenta los dos motores de búsqueda utilizados (Tabla 1). Independientemente de la base de datos utilizada las actas de los congresos representan la mayor fuente de publicación para el campo estudio, superando en ambos casos el 55% (Tabla 2), demostrando que los autores han preferido compartir los avances en la innovación docente mediante contribuciones a congresos, posiblemente debido a la baja oferta de revistas destinadas a la innovación docente aplicada a la ingeniería química. Sin embargo, los artículos de revistas

representan aproximadamente el 40% de los documentos encontrados en ambas bases de datos. Minoritariamente, los autores han optado por la publicación de libros para la divulgación de este tipo de innovación docente.

Tabla 2
Unidades de análisis

Unidad de análisis	Porcentaje (%)	
	Scopus	WoS
Actas de congresos	55,8	57,4
Artículos	40,7	41,6
Capítulos de libros	3,5	1,0

Fuente: Los autores.

Las publicaciones científicas se agrupan en áreas lo que permite su especialización y sectorización. En el caso analizado, la mayor parte de las contribuciones se enmarcan en las áreas de la investigación educativa, la ingeniería, ciencia computacional y la química (Tabla 3). Siendo otras áreas como, por ejemplo, la ciencia del comportamiento, minoritarias.

Tabla 3
Áreas de publicación

Área de Publicación	N° Documentos	
	Scopus	WoS
Investigación Educativa	56	82
Ingeniería	56	41
Ciencia Computacional	21	26
Química	18	10

Fuente: Los autores.

La distribución temporal de la producción científica es un factor clave que permite analizar el flujo de publicaciones y, por tanto, revela la importancia o implantación de la docencia basada en problemas en el área de la ingeniería química. En la Tabla 4 se muestran las publicaciones totales por año, los autores implicados y la relación entre los autores y los documentos por año desde la primera publicación objeto a estudio (1986) hasta el momento de la búsqueda (octubre de 2021).

Como se puede observar, el interés de la docencia basada en problemas aplicada a la ingeniería química comenzó a finales del siglo pasado. A partir del año 2011, se produce un incremento en el interés e implantación de este tipo de innovación docente como demuestra el aumento de las publicaciones anuales (superior o igual a cuatro al año) hasta la actualidad en las bases de datos analizadas. El máximo de publicaciones se detectó en 2020 con 11 contribuciones en Scopus y, en 2019 y 2012, con 12 contribuciones en WoS.

El índice de autores-contribuciones al año establece un parámetro que permite medir el interés de la comunidad científica en este ámbito. Las primeras publicaciones sobre la enseñanza basada en problemas presentaban un único autor. Actualmente este valor se ha incrementado cuatro veces aproximadamente, poniendo de manifiesto la integración de este método de innovación docente en la enseñanza de la Ingeniería Química.

La Fig. 1 muestra el número de contribuciones acumuladas con respecto a los años correlativos a estudio. Se observa como a partir del año 2011 la cantidad de publicaciones aumenta considerablemente independientemente de la base de datos estudiada. En ambas búsquedas, el número de publicaciones

acumuladas se ajusta a un modelo exponencial obteniéndose un elevado valor de regresión, demostrando el creciente interés por la comunidad docente en la aplicación de estos modelos de innovación docente en las enseñanzas superiores universitarias.

Tabla 4
Características de las publicaciones por año

Año	Scopus		WoS			
	Nº Doc.	Autores	Autores/Doc.	Nº Doc.	Autores	Autores/Doc.
2021	7	29	4,14	4	18	4,50
2020	11	35	3,18	7	23	3,28
2019	5	19	3,80	12	43	3,58
2018	7	28	4,00	6	24	4,00
2017	7	12	1,71	6	29	4,83
2016	9	25	2,78	7	25	3,57
2015	5	14	2,80	6	24	4,00
2014	4	16	4,00	5	21	4,20
2013	5	14	2,80	4	15	3,75
2012	4	24	6,00	12	59	4,92
2011	6	24	4,00	5	24	4,80
2010	2	5	2,50	5	14	2,80
2009	6	15	2,50	2	4	2,00
2008	8	18	2,25	0	0	,00
2007	3	5	1,67	1	1	1,00
2006	6	24	4,00	2	11	5,50
2005	3	4	1,33	2	5	2,50
2004	4	15	3,75	0	0	,00
2003	4	14	3,50	1	3	3,00
2002	3	5	1,67	0	0	,00
2001	0	0	,00	1	2	2,00
1998	1	2	2,00	0	0	,00
1997	1	2	2,00	1	1	1,00
1996	1	1	1,00	0	0	,00
1986	1	1	1,00	0	0	,00

Fuente: Los autores.

Una forma de medir la actualidad de un tema de estudio es mediante el índice Price [34], que mide el porcentaje de citas que tienen una antigüedad menor a 5 años. En el caso de la enseñanza basada en problemas en el área de la ingeniería química, el índice Price es un 51%, lo que demuestra que más de la mitad de las publicaciones referenciadas se han realizado en los últimos 5 años, poniendo de manifiesto el gran interés demostrado en el método de innovación docente basado en problemas en la Ingeniería Química

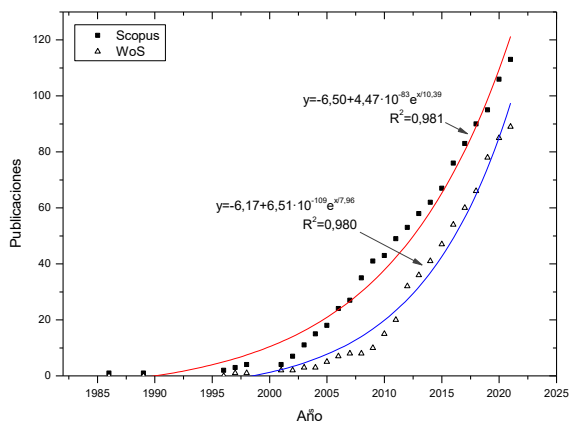


Figura 1. Número de documentos publicados acumulados por año.
Fuente: Los autores.

3.2. Productividad: idioma y medio de publicación

El idioma de publicación es uno de los factores clave en cualquier desarrollo de un trabajo de investigación ya que condiciona significativamente el público al que este está destinado. El inglés es el idioma prioritario de publicación de la comunidad científica internacional ya que permite alcanzar una mayor difusión del trabajo presentado. En la Fig. 2 se representa el porcentaje de publicaciones en función del idioma en las dos bases de datos utilizadas. Los resultados ponen de manifiesto que más del 90% de las contribuciones se han realizado en inglés, siendo minoritarias las publicaciones en otros idiomas.

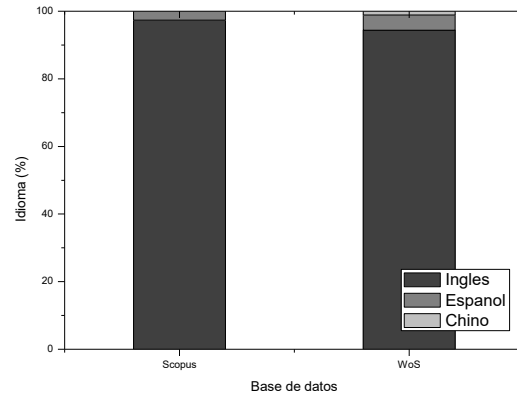


Figura 2. Idioma de publicación
Fuente: Los autores.

Un factor clave en los estudios bibliométricos es el análisis de las fuentes de publicación de los avances realizados sobre un determinado tema. Realizar este análisis contribuye a que el investigador identifique aquellas publicaciones a las que enviar sus contribuciones y a las que acudir para obtener referencias bibliográficas para su trabajo.

En el caso de la enseñanza basada en problemas aplicada a la ingeniería química, las fuentes encontradas en ambas bases de datos han contribuido únicamente con una publicación. Concretamente, el 90% de las publicaciones en Scopus y el 75% en WoS han sido divulgadas en una fuente que solo posee dicho trabajo publicado en el campo de estudio. Este comportamiento puede ser descrito mediante la Ley de Lotka [35]. En la Fig. 3 se representa el número de fuentes frente al número de publicaciones sobre el tema a estudio. Se observa que la Ley de Lotka se ajusta a los resultados con una elevada regresión (superior a ,99). Los resultados demuestran que la cantidad de revistas que publican trabajos relacionados con la enseñanza basada en problemas en el área de la ingeniería química aumentará a medida que aumente el número de artículos.

Dado que, como ya se ha mencionado la mayoría de fuentes han contribuido con la publicación de un trabajo relacionado con el campo de estudio, la Tabla 5 resume de manera ordenada los medios de publicación que poseen más de una contribución sobre el tema analizado. En la tabla se especifica el tipo de publicación distinguiendo entre contribuciones a congresos, revistas y libros. Además, se incluye la editorial, el índice de impacto y el ISSN. La diferencia en el número de artículos que aparecen en una misma revista para ambas bases de datos se

debe probablemente a errores en la indexación de artículos en WoS, ya que se ha podido comprobar que existen artículos registrados en Scopus que la base de datos de WoS no muestra. Este comportamiento ha sido descrito en otros estudios bibliométricos [36].

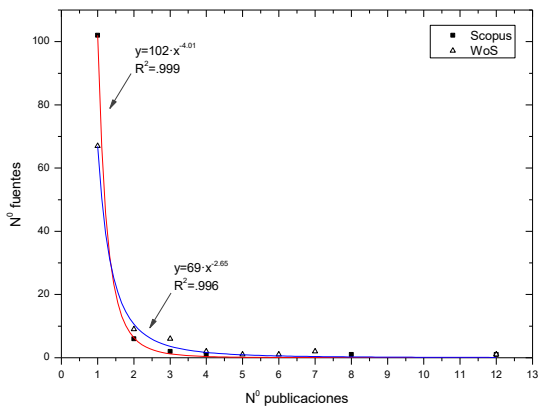


Figura 3. Ley de Lotka para calcular la correlación del número de fuentes con respecto al número de publicaciones. Fuente: Los autores.

La revista “*Education for Chemical Engineers*” editada por Elsevier es el referente internacional en la metodología de la enseñanza de la ingeniería química. Es la revista con el mayor número de contribuciones en las dos bases de datos analizadas. Esta revista publica dentro de las áreas de conocimiento de ingeniería química y educación, estando, para las dos áreas, dentro del segundo cuartil, según su índice JCR, con un índice H de 21. La segunda revista con mayor número de contribuciones es “*Chemical Engineering Education*” editada por la “*American Society for Engineering Education*” (Tabla 5). Esta publicación posee un índice H de 26 superior al encontrado para la “*Education for Chemical Engineers*”. Sin embargo, en los últimos años su índice de impacto se ha reducido situándose en el tercer cuartil de las publicaciones del área de la ingeniería química y en el cuarto cuartil para el área de la química, según su índice JCR. La tercera revista es la “*Journal of Chemical Education*” editada por la *American Chemical Society* que centra sus publicaciones en las áreas de la química y la educación. Posee un índice H de 84 y se encuentra dentro del segundo cuartil en ambas áreas de publicación. En las contribuciones redactadas en español destaca la revista “*Formación Universitaria*” editada por el “*Centro de Información Tecnológica La Serena – Chile*” con un índice H de 14 y que se encuentra en el tercer cuartil del área de Educación.

En el caso de las contribuciones en congresos destaca el “*International Technology, Education and Development Conference (INTED)*” con 15 publicaciones según la base de datos de WoS. El congreso cuenta con más de 15 años de antigüedad y es un referente internacional para el sector de la Educación y desde 2010 figura indexado dentro de los congresos avalados por WoS.

Tabla 5 Medios de publicación con más de una contribución científica. (Tipo (T): J: Journal; CP: Conference Proceeding; B: Book), S.: Scopus, W.: WoS.

Publicación	Características de la Publicación				Nº Docs.	
	T.	Editorial	ISSN	SJR (2020)	S.	W.
Education for Chemical Engineers	J	Elsevier	1749-7728	,566	12	7
Chemical Engineering Education	J	American Society for Engineering Education	0009-2479	,168	8	
Journal of Chemical Education	J	American Chemical Society	0021-9584	,499	4	3
Computer Applications in Engineering Education	J	Wiley-Blackwell	1061-3773	,478	3	3
Proceedings Frontiers in Education Conference International Technology, Education and Development Conference (INTED)	CP	N/A	1539-4565	,194	3	
Computer Aided Engineering European Journal of Engineering Education	CP	N/A	N/A	N/A		15
Formation Universitaria	B	Elsevier	1570-7946	,112	2	
International Journal of Emerging Technologies in Learning	J	Taylor & Francis	0304-3797	,854	2	
Edulearn Proceedings Asee Annual Conference Exposition ICERI	J	Centro de Informacion Tecnologica	0718-5006	,351	3	2
International Journal of Emerging Technologies in Learning	J	Kassel University Press GmbH	1868-8799	,454	2	
Proceedings Asee Annual Conference Exposition ICERI	CP	N/A	2340-1117	N/A		6
International Conference on Teaching and Learning in Higher Education World Engineering Education Forum Weef	CP	N/A	N/A	N/A		5
International Journal of Engineering Education	CP	N/A	2340-1095	N/A		4
Proceedings Frontiers in Education Conference	CP	N/A	N/A	N/A		4
International Journal of Engineering Education	J	Dublin Institute of Technology Tempus Publications	0949-149X	,551	2	2
Proceedings Frontiers in Education Conference	CP	N/A	1539-4565	,194	2	2

Fuente: Los autores.

Los resultados ponen de manifiesto que existe una oferta limitada de revistas altamente especializadas en la docencia de la ingeniería química con un elevado índice de impacto y calidad. Sin embargo, los congresos en los que se han presentado trabajos no son específicos en docencia en ingeniería química.

3.3 Productividad: autores y países

Uno de los aspectos más significativos de un análisis bibliométrico es identificar a los autores con mayor producción científica sobre la temática analizada. Su seguimiento es clave para otros investigadores para identificar y analizar cómo evoluciona un determinado campo.

Un total de 351 autores han participado en las 113 publicaciones encontradas en la base de datos de Scopus. En la búsqueda realizada en WoS se han encontrado 346 autores para las 89 contribuciones. Independientemente de la fuente consultada, 6 son los autores que mayor cantidad de documentos han publicado. En la Fig. 4 se puede observar la correlación entre el número de autores con respecto a la cantidad de publicaciones. Los resultados ponen de manifiesto que un total de 312 y 307 autores, Scopus o WoS respectivamente, solamente han contribuido con una publicación, lo que representa más de un 88% en ambas bases de datos. La proporción de autores que han contribuido con dos publicaciones es de aproximadamente un 8%, independientemente de la base de datos analizada. La relación entre el número de autores y el número de publicaciones se ajusta a un modelo potencial mediante una elevada regresión. La expresión potencial coincide con la Ley de Lotka que permite una descripción cuantitativa entre los autores y los artículos publicados en un campo de dado [37].

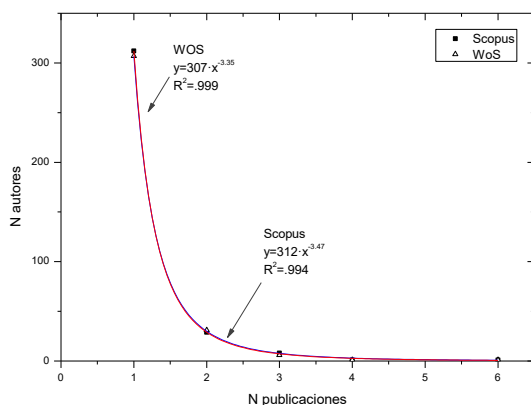


Figura 4. Ley de Lotka para calcular la correlación del número de autores con respecto al número de publicaciones.
Fuente: Los autores.

En la Tabla 6 se muestran los autores que han contribuido en mayor medida a la divulgación de la enseñanza basada en problemas aplicada a la ingeniería química. El criterio escogido para evaluar la productividad es incluir a todos aquellos con más de tres contribuciones y que representan aproximadamente un 2% del total de autores para cualquiera de las bases de datos

utilizada. Además, la Tabla 6 incluye la afiliación y el índice h de cada uno de los autores. El índice h es un parámetro que cuantifica la cantidad de citas que se han recibido los autores sobre sus artículos científicos, lo que indirectamente permite cuantificar la calidad científica de cada autor.

Khairiyah Mohd Yusof, con 6 publicaciones, es la autora que más ha contribuido a la divulgación de la enseñanza basada en problemas aplicada a la Ingeniería Química. Actualmente se encuentra afiliada a la Universidad Tecnológica de Malasia. El siguiente autor más productivo en el campo analizado es Bernard J. Van Wie, con 4 contribuciones y que se encuentra afiliado a la Universidad Estatal de Washington. La autora con mayor índice h, es Catherine Biggs que posee 3 contribuciones en el campo a estudio estando afiliada a la Universidad de Newcastle.

Tabla 6
Autores más productivos (>3 contribuciones)

Autores	Afiliación	h-index	Nº Documentos	
			Scopus	WoS
Mohd-Yusof, K.,	Universiti Teknologi Malaysia	8	6	6
Van Wie, B.J.,	Washington State University	15	4	4
Adesope O. Biggs, C.A.,	Washington State University Newcastle University	13	3	3
Harun, N.F.,	National Energy Technology Laboratory	7	3	3
Jamaludin, M.Z.,	Universiti Teknologi Malaysia	4	3	3
Sanchez-Tovar R	Universidad de Valencia	16	3	3
Mustafa, I.,	Yanbu Industrial College	2	3	3
Rossiter, D.,	University of Sheffield	3	3	3
Sadikin, A.N.,	Universiti Teknologi Malaysia	5	3	3
Ventura-Medina, E.,	University of Strathclyde	7	3	3
Woods, D.R.,	McMaster University	24	3	3

Fuente: Los autores.

En la Fig. 5 se representa el número de publicaciones por países productores encontrados en las dos bases de datos analizadas. Es indiscutible que Estados Unidos es el país que más ha contribuido al análisis de esta metodología docente, seguido de Malasia y Reino Unido. Los resultados resumidos en la Fig. 5 son consistentes con las afiliaciones de los autores más productivos. El análisis de los países productores permite afirmar que el interés por la enseñanza basada en problemas aplicada a la Ingeniería Química es global, ya que autores de todo el mundo han prestado interés en este método de innovación docente.

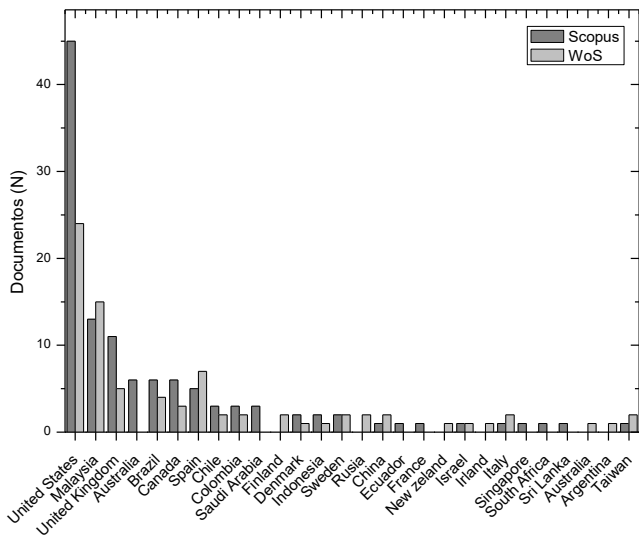


Figura 5. Países productores.
Fuente: Los autores.

3.4 Productividad: citas, palabras clave y concurrencia

Las diez publicaciones más citadas sobre la aplicación de la enseñanza basada en problemas en el área de la ingeniería química se muestran en la Tabla 7. Los trabajos han sido ordenados atendiendo a su antigüedad y se indican tanto los autores, como la fuente y número de citas en Scopus y en WoS. Existe una marcada diferencia en los resultados encontrados en ambas bases de datos, puesto que el trabajo más citado de los encontrados en WoS posee un total de 27 citas mientras que el documento con mayor número de citas en Scopus ha sido referenciado 90 veces. La diferencia de resultados se justifica por la diferenciación de fuentes indexadas a cada base de datos. Los resultados ponen de manifiesto la baja interconexión entre los diferentes trabajos desarrollados en este ámbito de la Innovación Docente, con una baja citación. La publicación más citada [9], es una de las primeras publicaciones en la que se desarrolló la experiencia de un nuevo programa para el estudio de la Ingeniería Química mediante la aplicación de la enseñanza basada en problemas. El trabajo pone de manifiesto la mejora obtenida en las calificaciones de los estudiantes mediante la implementación de esta metodología de innovación docente.

Las palabras clave o *Keywords* son los términos o frases cortas que utilizan los autores para describir el campo de investigación al que pertenece la publicación, y que favorecen la divulgación [38]. Además, el uso de las palabras clave ha permitido un ahorro de esfuerzo y tiempo en el momento de búsqueda de información sobre una temática específica. Por otro lado, las palabras clave permiten analizar los trabajos en función de la materia, estudiando las corrientes de investigación de los diferentes autores a lo largo de todo el mundo [39].

Un total de 1081 palabras clave han sido utilizadas en las publicaciones analizadas, de las cuales 602 son diferentes. En la Fig. 6 se representa una nube de palabras en la que un mayor tamaño representa una mayor utilización y que pone de manifiesto la existencia de unas palabras clave utilizada preferentemente por los autores para la divulgación de sus trabajos relacionados con el tema analizado.

Tabla 7
Las 10 publicaciones más citadas. S.: Scopus, W.: WoS.

Referencia	Título	Año	Fuente	N° Citas	
				S.	W.
[10]	Problem-based learning for large classes in chemical engineering	1996	New Directions for Teaching and Learning	90	
[40]	Problem based learning via open ended projects in Carnegie Mellon University's Chemical Engineering undergraduate laboratory	1997	Proceedings - Frontiers in Education Conference	28	
[41]	Experiments in the classroom: Examples of inductive learning with classroom-friendly laboratory kits	2003	ASEE Annual Conference Proceedings	25	
[42]	Random thoughts. Changing times and paradigms	2004	Chemical Engineering Education	29	
[43]	Renovating the undergraduate process control course	2006	Computers and Chemical Engineering	28	
[44]	Cooperative problem-based learning (CPBL)	2011	International Journal of Emerging Technologies in Learning	23	
[45]	Cooperative Problem-Based Learning (CPBL): A practical PBL model for engineering courses	2011	2011 IEEE Global Engineering Education Conference, EDUCON 2011	19	
[46]	Problem-oriented learning, problem-based learning, problem-based synthesis, process oriented guided inquiry learning, Peer-Led team learning, model-eliciting activities, and project-based learning: What is best for you?	2014	Industrial and Engineering Chemistry Research	27	
[47]	Mobile APP for motivation to learning: an engineering case	2016	Interactive Learning Environments	26	16
[48]	The discovery laboratory – A student-centred experiential learning practical: Part I – Overview Open Access	2016	Education for Chemical Engineers	25	27

Fuente: Los autores.

En la Tabla 8 se muestran de manera ordenada las 10 palabras clave más utilizadas por los autores. El uso de estas

comunidad docente por la aplicación de la enseñanza basada en problemas en la ingeniería química. Los principales medios para las publicaciones son las revistas “*Education for Chemical Engineers*” y “*Chemical Engineering Education*”. El “*International Technology, Education and Development Conference (INTED)*” es el congreso que más aportaciones ha recibido. La mayor producción científica sobre el campo analizado se encuentra en Estados Unidos, aunque existe un interés generalizado en los cinco continentes. Los autores que más han contribuido a la divulgación de la metodología de innovación docente son Khairiyah Mohd Yusof y Bernard J. Van Wie. El análisis de las palabras clave muestra un creciente interés por la motivación del alumnado y enseñanza activa dirigida a aspectos prácticos y profesionalizantes claves en la enseñanza de la Ingeniería Química. Estos resultados son avalados por el elevado valor del índice Price, superior a un 50%, así como el elevado ajuste a la Ley de Lotka para la relación entre el número de contribuciones en las fuentes y la participación de los autores en las publicaciones. El estudio bibliométrico refleja que la enseñanza basada en problemas aplicada a la ingeniería comienza a ser una técnica de innovación docente que se puede aplicar a la enseñanza de la Ingeniería Química dotando a los alumnos de competencias específicas de difícil adquisición con los métodos tradicionales de enseñanza.

Agradecimientos

Este manuscrito se ha realizado gracias a la concesión del proyecto “El alumnado ante un caso real: Análisis de un proceso de desalación de agua salobre” concedido a los autores en la convocatoria de Proyectos de Innovación y Transferencia Educativa (PITE) a desarrollar en el curso 2022-2023 promovido por Vicerrectorado de Innovación Docente, Calidad y Campus Anchieta (VICINCAL) la Universidad de La Laguna para el curso académico 2021-2022.

Referencias

- [1] F. Vega, E. Portillo, M. Cano, and B. Navarrete, Teaching Experiences in Chemical Engineering: Design, manufacturing and Start-up of a Lab-scale distillation Unit using Problem-based Learning, *Formación Universitaria* vol. 4, no. 1, pp.13-22, 2013 <https://doi.org/10.4067/S0718-50062014000100003>
- [2] M.I. De la Iglesia, Adecuación del grado de desarrollo de la formación en competencias a la necesidad en el entorno laboral, según la opinión de los estudiantes, *Revista Complutense de Educación*, vol. 22, no. 1, pp. 71-92, 2011. https://doi.org/10.5209/rev_RCED.2011.v22.n1.4
- [3] L. Jiménez, F.J. Ramos and M. Ávila, Las Universidades españolas y EEES: Un estudio sobre los títulos de grado de maestro en educación primaria, *Formación Universitaria*, vol. 5, no.1, pp. 3-14, 2012. <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-50062012000100005>
- [4] L.A. Branda, El aprendizaje basado en problemas. De herejía artificial a res popularis, *Educación Médica*, vol. 12, no. 1, pp. 11-23, 2009.
- [5] H. Ju, I. Choi, D. Rhee, and J. Tae-lee, Challenges Experienced by Korean Medical Students and Tutors During Problem-Based Learning: A Cultural Perspective. *Interdisciplinary Journal of Problem-based Learning*, vol. 10, no. 8, 2016. <https://doi.org/10.7771/1541-5015.1565>
- [6] R. Vaez Ghaemi, and G. Potvin, Experimenting with labs: Practical and pedagogical considerations for the integration of problem-based lab instruction in chemical engineering, *Canadian Journal of Chemical Engineering*, vol. 99, no. 10, pp. 2163-2172, 2021. <https://doi.org/10.1002/cjce.24136>
- [7] Y. Hu and C. Li, Implementing a multidimensional education approach combining problem-based-learning and conceive-design-implement-operate in a third-year undergraduate chemical engineering course. *Journal of Chemical Education*, vol. 97, pp. 1874-1886, 2020 <https://doi.org/10.1021/acs.jchemed.9b00848>
- [8] X. Ge and B.L. Chua, The Role of Self- Directed Learning in PBL: Implications for Learners and Scaffolding Design. In M. Moallem, W. Hung, N. Dabbagh (Eds.), *The Wiley Handbook of Problem-Based Learning*, 1st Ed. Wiley-Blackwell, pp. 367-388, 2019. <https://doi.org/10.1002/9781119173243.ch16>
- [9] P. Blumber, Designing for Effective Group Process in PBL Using a Learner- Centered Teaching Approach. In M. Moallem, W. Hung, N. Dabbagh (Eds.), *The Wiley Handbook of Problem-Based Learning*, 1st Ed. Wiley-Blackwell, pp. 343-366, 2019. <https://doi.org/10.1002/9781119173243.ch15>
- [10] D.R. Woods, Problem-based learning for large classes in chemical engineering. *New Directions for Teaching and Learning*, vol. 68, pp. 91-99, 1996. <https://doi.org/10.1002/tl.37219966813>
- [11] C. Marr and G.J. Powers, Problem based learning via open ended projects in Carnegie Mellon University's Chemical Engineering undergraduate laboratory. In *Proceedings - Frontiers in Education Conference 1, IEEE*, pp. 350-354, 1997. <https://doi.org/10.1109/FIE.1997.644901>
- [12] M.S.H. Ruslan, M.R. Bilad, M.H. Noh, and S. Sufian, Integrated project-based learning (IPBL) implementation for first year chemical engineering student: DIY hydraulic jack project. *Education for Chemical Engineers*, vol. 35, pp. 54-62, 202. <https://doi.org/10.1016/j.ece.2020.12.002>
- [13] S. Fernandes, M.A. Flores, and R.M. Lima, Students views of assessment in project-led engineering education: findings from a case study in Portugal, *Assessment & Evaluation in Higher Education*, vol. 37, pp. 163-178, 2012 <https://doi.org/10.1080/02602938.2010.515015>
- [14] S. Fernandes, D. Mesquita, M.A. Flores and R.M. Lima, Engaging students in learning: findings from a study of project-led education, *European Journal Engineering Education*, vol. 39, pp. 55-67, 2014. <https://doi.org/10.1080/03043797.2013.833170>
- [15] R.M. Lima, D. Mesquita, and L.Coelho, Five years of project-based learning training experiences in higher education institutions in Brazil. In Guerra, A., Rodriguez, F.J., Kolmos, A. y Peña Reyes I. (Eds.). *6th International Research Symposium on PBL/PBL, Social Progress and Sustainability*, pp. 470-479, 2017.
- [16] F. Vega, and B. Navarrete, Professional design of chemical plants based on problem-based learning on a pilot plant, *Education for chemical Engineers*, vol. 26, pp. 30-34, 2019 <https://doi.org/10.1016/j.ece.2018.08.001>
- [17] M. Gunasekera, F. Khan and S. Ahmed, Learning Process Safety Principles through practice, *American Institute of Chemical Engineers*, vol. 37, no. 3, pp. 347-354, 2017 <https://doi.org/10.1002/prs.11942>
- [18] C.E. Glatz, R. González, M.E. Huba, S.M. Mallapragada, B. Narasimhan, P.J. Raily, K.P. Saunders and J.V. Shanks, Problem-based learning Biotechnology Courses in Chemical Engineering, *Biotechnology Progress*, vol. 22, pp. 173-178, 2006. <https://doi.org/10.1021/bp050259r>
- [19] A. M. Ruiroz-Ortega, J.J. Gallardo-Rodríguez, E. Navarro-López, M.C. Cerón-García, Project-led-education experience as a partial strategy in first years of engineering courses, *Education for Chemical Engineers*, vol. 29, pp.1-8, 2019, <https://doi.org/10.1016/j.ece.2019.05.004>
- [20] M. Cline and G.J. Powers, Problem based learning via open ended project in Carnegie Mellon University's Chemical Engineering undergraduate

- laboratory. *Frontiers in Education Conference, 1997, 27 th Annual Conference. Teaching and Learning in an Era of Change. Proceedings*, vol. 1, 1997, November, IEEE, pp. 350-354.
- [21] J.L. Gossage, C.L. Yaws, D.H. Chen, K. Li, T.C. Ho, J. Hopper and D.L. Cocke, Integrating best practice pedagogy with computer-aided modelling and simulation to improve undergraduate chemical engineering education, *Age 6*, vol. 1, 2001. <https://doi.org/10.18260/1-2--9408>
- [22] A.T. Harrys and S. Briscoe-Andrews, Development of a problem-based learning elective in “green engineering”, *Education for Chemical Engineers* vol. 3, pp. e15-e21, 2008. <https://doi.org/10.1016/J.ECE.2007.12.001>
- [23] J. Warmerdam, *The Twente Educational Model. Analysing Educational Policy*, University of Twente, 2017.
- [24] A. Kolmos, Problem-based and project-based learning BT - university science and mathematics education in transition. In: Skovsmose, O., Valero, P., Christensen, O.R. (Eds.), *University Science and Mathematics Education in Transition*. Springer, US, Boston, MA, pp. 261–280, 2009. <http://dx.doi.org/10.1007/978-0-387-09829-6>
- [25] G. Goel, C. Hélix-Nielsen, H.M. Upadhyaya, and S. Goel, A bibliometric study on biomimetic and bioinspired membranes for water filtration. *npj Clean Water* vol. 4, no. 41, 2021. <https://doi.org/10.1038/s41545-021-00131-4>
- [26] A. Pritchard, *Statistical Bibliography or Bibliometrics*. *Journal of Documentation*, vol. 4, no. 25, pp. 348-349, 1969.
- [27] S. Garvía-Martínez, P. Andreo-Martínez, M. Molas, J. Oliva, and M.A. Cámara, Pesticide residues in wines: A bibliometric análisis, *Afinidad*, vol. 78, no. 593, pp. 89-97, 2021
- [28] M.A. Khan, D. Parraik, R. Ashraf, I. Ali, S. Kumar, and N. Donthu, Value of special issues in the *Journal of Business Research*: a bibliometric analysis, *Journal of Business Research* vol. 125, pp. 295-313, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.jbusres.2020.12.015>
- [29] N. Donthu, S. Kumar, D. Mukherjee, N. Pandey, and W.M. Lim, How to conduct a bibliometric analysis: An overview and guidelines. *Journal of Business Research*, vol. 133, pp. 285-296, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.jbusres.2021.04.070>
- [30] Scopus Content Coverage Guide, 2021, Recuperado el 31 de octubre de 2021 de https://www.elsevier.com/accedys2.bbt.ull.es/_data/assets/pdf_file/0007/69451/Scopus_ContentCoverage_Guide_WEB.pdf
- [31] Web of Science, 2021, Recuperado el 31 de octubre de 2021 de <https://clarivate.com/webofsciencegroup/solutions/web-of-science/>
- [32] P. Mongeon and A. Paul-Hus, The journal coverage of Web of Science and Scopus: a comparative analysis, *Scientometrics*, vol. 106, no. 1, pp. 213-228, 2016. <https://doi.org/10.1007/s11192-015-1765-5>
- [33] M.E. Falagas, E.I. Pitsouni, G.A. Malietzis, and G. Pappas, Comparison of PubMed, Scopus, Web of Science, and Google Scholar: Strengths and weaknesses, *FASEB Journal*, vol. 22, no. 2, pp. 338-342, 2008. <https://doi.org/10.1096/fj.07-94921sf>
- [34] J. Ardanuy, Breve introducción a la bibliometría, 2012, Recuperado el 31 de octubre de 2021 de <http://diposit.ub.edu/dspace/bitstream/2445/30962/1/breve%20introducci%20bibliometria.pdf>.
- [35] D.D.S Price, A general theory of bibliometric and other cumulative advantage processes, *Journal of the American Society for Information Science*, vol. 27, no. 5, pp. 292-306, 1976. <https://doi.org/10.1002/asi.4630270505>
- [36] A. Delgado, E. Vázquez-Cano, M. Belando and E. López, Bibliometric analysis of the impact of educational research on functional diversity and digital competence: Web of Science and Scopus, *Aula Abierta*, vol. 48, no. 2, pp. 147-156, 2019. <https://doi.org/10.17811/rifie.48.2.2019.147-156>
- [37] R. Urbizagastegui, La Ley de Lotka y La Literatura de Bibliometría. *Investigación Bibliotecológica: archivonomía, bibliotecología e información*, vol. 13, no. 27, 1999. <http://dx.doi.org/10.22201/iibi.0187358xp.1999.27.3913>
- [38] G. Chen and L. Xiao, Selecting Publication Keywords for Domain Analysis in Bibliometrics: A comparison of three methods, *Journal of Informetrics*, vol. 10, no. 1, pp. 212-223, 2016. <https://doi.org/10.1016/j.joi.2016.01.006>
- [39] M. González Tous and V.S. Mattar, Las claves de las Palabras Clave en los artículos científicos, *Revista MVZ Córdoba*, vol.17, no. 2, pp. 2955-2956, 2012. <https://doi.org/10.21897/rmvz.228>
- [40] M. Cline and G.J. Powers, Problem based learning via open ended projects in Carnegie Mellon University's Chemical Engineering undergraduate laboratory. In *Proceedings - Frontiers in Education Conference 1, IEEE*, pp. 350-354, 1997. <https://doi.org/10.1109/FIE.1997.644901>
- [41] S.S. Moor and P. Piergiovanni, Experiments in the classroom: Examples of inductive learning with classroom-friendly laboratory kits. In *ASEE Annual Conference Proceedings, ASEE Peer*, pp. 7323-7332, 2003. <https://doi.org/10.18260/1-2--11569>
- [42] R.M. Felder, Random thoughts... Changing times and paradigms. *Chemical Engineering Education*, vol. 38, no. 1, pp. 32-33, 2004
- [43] T.F. Edgar, B.A. Ogunnaike, J.J. Downs, K.R. Muske and B.W. Bequette, Renovating the undergraduate process control course, *Computers and Chemical Engineering*, vol. 30, no. 10-12, pp. 1749-1762, 2006. <https://doi.org/10.1016/j.compchemeng.2006.05.012>
- [44] K. Mohd-Yusof, S.A. Helmi, M.Z. Jamaludin and N.F. Harun, Cooperative problem-based learning (CPBL). *International Journal of Emerging Technologies in Learning*, vol. 6, no. 3, pp. 12-20, 2011. <https://doi.org/10.3991/ijet.v6i3.1696>
- [45] K. Mohd-Yusof, S.A. Helmi, M.Z. Jamaludin and N.F. Harun, Cooperative Problem-Based Learning (CPBL): A practical PBL model for engineering courses. In *2011 IEEE Global Engineering Education Conference, EDUCON 2011, IEEE*, pp. 366-373, 2011. <https://doi.org/10.1109/EDUCON.2011.5773162>
- [46] D.R. Woods, Problem-oriented learning, problem-based learning, problem-based synthesis, process oriented guided inquiry learning, Peer-Led team learning, model-eliciting activities, and project-based learning: What is best for you?, *Industrial and Engineering Chemistry Research* vol. 53, no. 13, pp. 5337-5354, 2014. <https://doi.org/10.1021/ie401202k>
- [47] M. Jou, Y.T. Lin and H.C. Tsai, Mobile APP for motivation to learning: an engineering case. *Interactive Learning Environments*, vol. 24, no. 8, pp. 2048-2057, 2016. <https://doi.org/10.1080/10494820.2015.1075136>
- [48] W. Chen, U. Shah and C. Brechtelsbauer, The discovery laboratory – A student-centred experiential learning practical: Part I – Overview, *Education for Chemical Engineers*, vol. 17, pp. 44-53, 2016. <https://doi.org/10.1016/j.ece.2016.07.005>
- [49] A. Vázquez, E. Vázquez, M. Blando and E. López, Análisis bibliométrico del impacto de la investigación educativa funcional y competencia digital: Web of Science y Scopus, *Aula Abierta*, vol. 48, no. 2, pp. 147-156, 2019. <https://doi.org/10.17811/rifie.48.2.2019.147-156>
- [50] N. Jan van Eck and L. Waltman, *VOSviewer Manual*. versión 16.17. Universidad de Leiden, 2021. J. D. Velásquez, V. M. Rueda and C. J. Franco, Electricity demand forecasting using a SARIMA-multiplicative single neuron hybrid model, *DYNA*, vol. 80, no. 180, pp. 4-8, 2013.

O. Díaz es Doctor en Ingeniería Química de la Universidad de La Laguna, Profesor contratado laboral de interinidad del Departamento de Ingeniería Química y TF de la Universidad de La Laguna.

<https://orcid.org/0000-0001-8259-8381>

E. Segredo-Morales es PhD en Ingeniería Química y Tecnología Farmacéutica de la Universidad de La Laguna, su tesis doctoral verso sobre hidrogeles bioactivos para la regeneración ósea en osteoporosis (2019). Es investigadora en el departamento de Ingeniería Química y Tecnología Farmacéutica de la Universidad de La Laguna.

<https://orcid.org/0000-0002-5671-8965>

E. González es Ingeniero Químico de la Universidad Complutense de Madrid (2003) y de Universidad de La Laguna (2000). En 2008 se tituló como Doctor en Ingeniería Química de la Universidad de La Laguna, se desempeña como Profesor Contratado en la misma Universidad en la División de Ingeniería Química y Tecnología Farmacéutica.

<https://orcid.org/0000-0002-8851-5046>