

# ΣΟΦΙΑ—SOPHIA

DOI: <http://dx.doi.org/10.18634/sophiaj.14v.2i.788>

**Encadenamiento mediado por aprendizaje basado  
en proyectos ecoeficientes**

**Chaining mediated by learning based on  
eco-efficient projects**

**Encadeamento mediado pela aprendizagem  
baseada em projetos ecoeficientes**

Martha Beatriz Ramírez González

Universidad Pedagógica y Tecnológica de  
Colombia, Escuela de Ciencias Químicas.  
Tunja-Colombia. [marberami@yahoo.com](mailto:marberami@yahoo.com)

## Información del artículo

Recibido: Diciembre 01 de 2017

Revisado: Abril 11 de 2018

Aceptado: Junio 30 de 2018

## Cómo citar:

Ramírez, M.B. (2018) Encadenamiento  
mediado por aprendizaje basado en  
proyectos ecoeficientes. *Sophia*, 14  
(2), 60-72.



ISSN (electrónico): 2346-0806 ISSN (impreso): 1794-8932

## Resumen

En Colombia la mayoría de universidades que forman profesionales en química, priorizan su formación científica en forma inconexa con los procesos químicos y la química industrial, a pesar que el 78% de los químicos ejercen su profesión en la industria, evidenciando una alta demanda en ese mercado laboral (Ministerio de Educación, 2015). En el grupo de investigación en Ecoeficiencia de la Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia, se desarrolló una innovación educativa para la formación por competencias del químico, denominada encadenamiento hacia la química verde. El encadenamiento fue diseñado en términos de unidad de competencia, basado en estrategias metacognitivas de aprendizaje, evaluación y transferencia, aplicado en el curso de química industrial de octavo semestre, con mediación pedagógica del aprendizaje basado en proyectos ecoeficientes y emprendidos en una investigación-acción (Carr, 1988). Se partió de 19 competencias genéricas proclamadas en el Proyecto Alfa Tuning Latinoamérica (2005-2013), y 16 competencias específicas, articuladas con los doce principios de la química verde, para asegurar la sostenibilidad del proceso químico (Anastas y Warner, 1998). El propósito del trabajo fue evaluar el proceso de formación por competencias bajo el criterio de evaluación auténtica y sus resultados, referentes de la pertinencia y eficacia de la innovación educativa, formulada y ejecutada alrededor del autoconocimiento, autorreflexión y autorregulación. Los resultados validados interna y externamente, se evidencian con la producción semestral de 10-15 productos ecoeficientes sometidos al proceso de emprendimiento, con importantes reconocimientos tanto en lo académico como en el sector productivo.

Palabras clave: ABP ecoeficientes, encadenamiento, enseñanza de las ciencias, evaluación metacognitiva, mediación pedagógica.

## Abstract

In Colombia, the majority of universities that train professionals in chemistry prioritize their scientific training in a disconnected way with chemical processes and industrial chemistry, although 78% of chemists practice their profession in the industry, evidencing a high demand in that labor market (Ministry of Education, 2015). In the Eco-efficiency research group of the Pedagogical and Technological University of Colombia, an educational innovation was developed for training by competencies of chemists, called chaining towards green chemistry. The chaining was designed in terms of competence unit, based on metacognitive strategies of learning, evaluation and transfer; it was applied in a course of industrial chemistry in eighth semester, with pedagogical mediation of learning based on eco-efficient projects, and undertaken in an action-research (Carr, 1988). It started with 19 generic competences proclaimed in the Alfa Tuning Latin America Project (2005-2013), and 16 specific competences, articulated with the twelve principles of green chemistry, in order to ensure the sustainability of the chemical process (Anastas and Warner, 1998). The purpose of this work was to evaluate the training process by competences under the criterion of authentic evaluation and its results, referring to the relevance and effectiveness of educational innovation, formulated and executed around self-knowledge, self-reflection and self-regulation. The results, validated internally and externally, are evidenced by the semester production of 10-15 eco-efficient products submitted to the entrepreneurial process, with important academic recognition, both academically and in the productive sector.

**Key words:** eco-efficient ABP, linkage, science teaching, metacognitive evaluation, pedagogical mediation.

## Resumo

Na Colômbia, a maioria das universidades que formam profissionais em química, priorizam sua formação científica de forma desconectada com processos químicos e química industrial, embora 78% dos químicos exerçam sua profissão na indústria, evidenciando uma alta demanda neste mercado de trabalho (Ministério da Educação, 2015). No grupo de pesquisa sobre Ecoeficiência da Universidade Pedagógica e Tecnológica da Colômbia, desenvolveu-se uma inovação educacional para a formação por competências do químico, chamado encadeamento para a química verde. O encadeamento foi concebido em termos de unidade de competência, baseado em estratégias metacognitivas de aprendizagem, avaliação e transferência, aplicado no curso de química industrial do oitavo semestre, com mediação pedagógica de aprendizagem baseada em projetos ecoeficientes e iniciados em uma pesquisa-ação (Carr, 1988). Começou com 19 competências genéricas proclamadas no Proyecto Alfa Tuning Latinoamérica (2005-2013), e 16 competências específicas, articuladas com os doze princípios da química verde, para garantir a sustentabilidade do processo químico (Anastas e Warner, 1998).

O objetivo do trabalho foi avaliar o processo de formação por competências sob o critério de avaliação autêntica e seus resultados, referentes da relevância e efetividade da inovação educacional, formulada e executada em torno do autoconhecimento, autorreflexão e autorregulação. Os resultados, validados interna e externamente, são evidenciados pela produção semestral de 10-15 produtos ecoeficientes submetidos ao processo empreendedor, com importante reconhecimento acadêmico, o setor produtivo e os investidores co-financiadores dos desenvolvimentos inovadores de alto valor agregado.

**Palavras-chave:** PBA ecoeficiente, encadeamento, ensino das ciências, avaliação metacognitiva, mediação pedagógica.

## Introducción

En el siglo XXI el complejo proceso educativo de la enseñanza-aprendizaje de las ciencias ha generado súbitos cambios de enfoques y paradigmas, hacia una formación más coherente y autónoma, frente a retos de la frontera del conocimiento, inclusive con el vertiginoso avance de las TIC. El desafío pedagógico no solo implica acciones de comprobar, acreditar y certificar niveles de conocimiento alcanzados por los estudiantes, sino de innovar productiva y sosteniblemente, mediante la formación por competencias y la evaluación formativa; que rete al estudiante a confrontar escenarios reales con casos, problemas, buenas prácticas de laboratorio y responsabilidad social, exigidas por la interdisciplinariedad, los cambios tecnológicos y multiculturales propios de la globalización.

Desde este enfoque pedagógico de la ciencia, el grupo de investigación en Ecoeficiencia y Productos Naturales de la Escuela de Ciencias Químicas de la Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia (UPTC) planificó y ejecutó una innovación educativa denominada encadenamiento, cuyo propósito fue la formación de un químico *verde*, basada en aprendizaje autónomo, metacognición (autoconocimiento, autorregulación y autoevaluación), emprendimiento y evaluación auténtica, desde el microcurrículo de la Química Industrial, asignatura impartida en el octavo semestre de la carrera de química.

En un programa profesional de Química, la química industrial no es el punto de llegada, sino de convergencia multidisciplinar, porque abarca el estudio macroscópico de los fenómenos naturales y de transporte, hasta el estudio microscópico de la materia y sus interrelaciones.

Con poca profundidad en el manejo interdisciplinario convergente en la química industrial, se pueden generar resultados dispersos y estudiantes con *background* y *knowhow* espurio, diluido o fraccionado. En su lugar, si la profundidad y rigurosidad aporta adecuados escenarios prospectivos se puede repensar en la formación de un químico colombiano, ecoeficiente, innovador y emprendedor.

El encadenamiento realizado en la ECQ-UPTC, evolucionó como objeto de la tesis doctoral en Ciencias de la Educación (Rudecolombia), realizada por la autora, con el soporte de experiencias significativas transferida desde el Centro Universidad-Empresa de la Universidad Autónoma de Chiapas de México.

*Las competencias y el aprendizaje autónomo.* La experiencia del aprendizaje autónomo de la química verde (sostenible) desde el microcurrículo de química industrial, evidenció a lo largo de tres años consecutivos, la adquisición de habilidades y destrezas con pertinencia en un proceso de formación por competencias integradas.

El proceso implica que el estudiante comprenda y apropie su aprendizaje como un circuito multidireccional, que genere habilidades sociales, de pensamiento creativo y crítico, para estimular su capacidad analítica del saber hacer, ética, profesional y sensible, en su formación integral.

Las competencias presuponen la incorporación de una pedagogía activa, de trabajo colaborativo, que promueve el desarrollo metacognitivo, mediante el aprendizaje significativo basado en proyectos (Brooks, 2005; Ursache, 2013 y Nueno, 2009). Por lo tanto, el encadenamiento está diseñado para potenciar un estudiante responsable del proceso de aprendizaje autónomo y que, bajo el direccionamiento del equipo docente, caracterice problemas, jerarquice las propuestas para resolverlos y tome decisiones, adquiriendo así grados de responsabilidad y crecimiento profesional, dentro del contexto científico, cultural y socioeconómico.

El Proyecto Tuning para América Latina (PTAL-2007), concertó y definió el conjunto de competencias necesarias para la formación del químico (o carreras afines). Las competencias genéricas o transversales, (inicialmente fueron 27), fueron depuradas y redujeron a 19 (G1-G19) y para el año 2013 se acordaron 16 competencias específicas (E1-E16). (Nueno, 2009).

Las competencias genéricas fueron agrupadas en cuatro factores, asociados a: proceso de aprendizaje, valores sociales, contexto tecnológico e internacional y habilidades interpersonales.

Las competencias están ligadas a contextos culturales, profesionales, o a condiciones sociales particulares, como el mercado laboral. Las personas desarrollan competencias adaptadas a su entorno, pues no todos los seres humanos experimentan las mismas situaciones. El vínculo entre las competencias así entendidas, y el método investigativo de afrontar la realidad, mediante la metodología problema-solución, promueve la formulación de proyectos, en este caso innovadores y ecoeficientes, para resolver tareas complejas y desafíos que motivan a los estudiantes a movilizar e integrar sus conocimientos, en forma interdisciplinar y en el

contexto profesional real; que privilegie la formación por competencias (Perrenoud, 2013).

El emprendimiento, otro eslabón de formación por competencias integradas, implica cualificar y fortalecer la actitud y aptitud del estudiante, para impulsar nuevos retos, nuevos proyectos, que le permita avanzar paulatinamente hacia la consecución del resultado propuesto, para satisfacer necesidades profesionales o empresariales, lo cual requiere de un elemento vital denominado espíritu emprendedor.

El emprendimiento puede definirse como:

Tomar acciones humanas, creativas para construir algo de valor a partir de prácticamente nada... es la búsqueda insistente de la oportunidad independientemente de los recursos disponibles... requiere una visión, la pasión, el compromiso para guiar a otros y la disposición de tomar riesgos calculados... (Timmons y Spinelli Jr, 2013: 116).

En consecuencia, encadenar los eslabones inmersos en las estrategias metacognitivas, creatividad y emprendimiento, es un planteamiento integrador para potenciar un estudiante responsable del continuo proceso de aprendizaje interdisciplinario de la ciencia que bajo el direccionamiento del equipo docente caracterice problemas, jerarquice propuestas para resolverlos y tome decisiones, adquiriendo autonomía, responsabilidad y crecimiento profesional, dentro del contexto científico, cultural y socioeconómico.

La evaluación del proceso metacognitivo tiene un doble propósito, privilegiar el conocimiento del estudiante respecto del aprendizaje y de las estrategias para su retroalimentación (mejoramiento continuo), además aporta a los formadores y a la propia institución, elementos para comprender y reorientar su pedagogía actual, coherente con el pensamiento metacognitivo de sus educandos.

Desde lo operativo, la evaluación debe encuadrarse en un enfoque cualitativo y reunir las características de *evaluación auténtica*, continua e integral, como función *propedéutica* y como método comparado, para enfrentar escenarios profesionales similares. En consecuencia, se deben asignar *tareas situadas* al estudiante, de carácter práctico, que exploten la iniciativa y creatividad, para afrontar los problemas, usando métodos, técnicas y equipos, en forma competente y metódica, para la resolución más pertinente; es decir, en las condiciones más fidedignas y realistas, en contexto físico (Díaz, 2013 y Perkins, 1997).

La evaluación focaliza su atención en el aprendizaje, por lo tanto, la naturaleza del aprendizaje es el objeto de la evaluación y pretende integrar los resultados, a la sociedad del conocimiento, interdisciplinariedad y a la complejidad. La evaluación formativa continua, posibilita que el estudiante pueda realizar su autoevaluación, revisar y contrastar sus aprendizajes, con otro contexto educativo y profesional, denominado de *uso del conocimiento* (Perkins, 1997).

El binomio aprendizaje-evaluación, incorpora elementos independientes, pero no excluyentes, con incidencia recíproca; que además inciden favorablemente en autoestima y motivación.

Según Monereo (2009), la *evaluación auténtica* se caracteriza por valorar especialmente el proceso de decisión necesario para resolver un problema complejo, en el que deban activarse y aplicarse coordinadamente distintos conocimientos y competencias, para demostrar la capacidad estratégica imprescindible de autorregular la propia conducta y ajustarse a los cambios inesperados. Dicha evaluación tiene tres enfoques: la evaluación no formal (*alternative assessment*), la evaluación del proceso de realización (*performance assessment*) y la evaluación basada en problemas (*problem based assessment*). Las características de la modalidad de evaluación formativa se muestran en la figura 1.

**Figura 1.** Características de la evaluación *auténtica* metacognitiva



Fuente: elaboración propia, adaptado de (Monllor 2012, 2013).

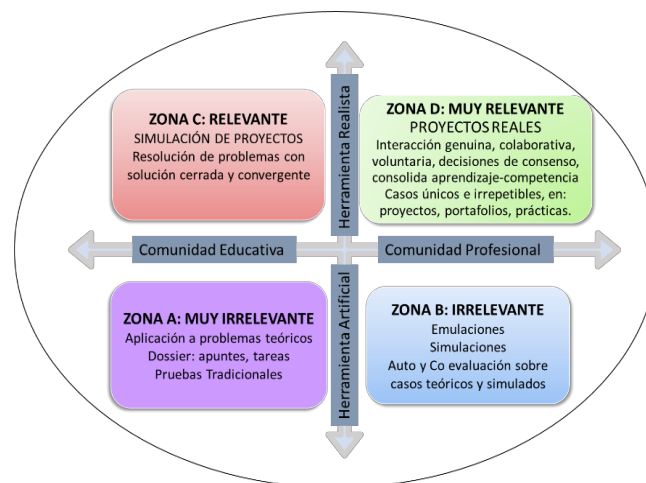
La relevancia del *Aprendizaje Basado en Proyectos* como mediador en el proceso metacognitivo del estudiante, favorece su acercamiento al contexto profesional y el mercado de destino; sin embargo, se puede atravesar inapropiadamente la delgada línea y sesgarse a procesos de formación para el trabajo como técnico o tecnólogo en lugar de un profesional en química. Esto es evitable, cuando se planifican correctamente los niveles de competencia (saber-hacer), los distintos grados de inmersión profesional (propuestas y proyectos) a desarrollar; teniendo precaución de no caer en la resolución de problemas irrelevantes o artificiales, cuya única referencia sea intra-académica.

Los escenarios de esta pedagogía-didáctica activa, deben planificarse con minucia, para intervenir situaciones reales bien documentadas o con acceso para ello (Mills y Treagust, 2013), evitando el abordaje de problemas insuficientemente contextualizados, que evadan la complejidad e incertidumbre propias de las condiciones y requerimientos de situaciones profesionales reales.

El éxito de una evaluación auténtica, aplicada a la metacognición con problemas reales, radica en que el equipo docente comparta con los estudiantes los criterios de evaluación de cada una de las diferentes competencias, con el propósito que lo interioricen y apliquen en forma autónoma y ética. En todo momento se pretende que la solución efectiva del problema real y relevante (próximo a las situaciones reales), sea convergente y cerrada, para evitar dualidades, ambigüedades o asimetrías; cuya pertinencia, relevancia y coherencia, sea tangible, medible y demostrable, para el mercado de destino (académico, profesional, empresarial) y la comunidad beneficiaria (Monllor 2012, 2013). Se evalúa la capacidad de combinar los recursos y movilizarlos en un contexto, saber aprender, saber comprender y transferir, y aprender a aprender.

El análisis bidimensional del proceso de evaluación por competencias desarrollado por (Monereo, 2009), propone dos ejes de acción como referencia en una misma herramienta de evaluación por competencias, determinando cuatro cuadrantes, según el nivel de relevancia (figura 2). La Zona D se destaca como muy relevante, por su relación con la comunidad educativa-profesional y su carácter realista; lo cual es concomitante con las mediaciones formativas del tipo *proyectos* (ABP) o *resolución de casos*; elementos pertinentes con la *metodología del encadenamiento*, objeto de este trabajo.

Figura 2. Zonas de relevancia en la evaluación por competencias.



Fuente: Elaboración propia, adaptado de Monereo (Monereo, 2009).

*El cambio como respuesta a la calidad del proceso.* El aprendizaje basado en competencias, supone un compromiso con y para el cambio. Aún están presente los vestigios y rezagos de la educación tradicional, en donde el estudiante es sujeto pasivo de su formación profesional. En su lugar, una formación por competencias, es integral, profesional, personal y dinámica, pero también por una formación vinculante con la vida en un entorno complejo, competitivo y cambiante; en donde siempre se trabaja en equipo y de forma colaborativa.

La resistencia al cambio de metodología de formación, de pedagogía pasiva (de transmisión), a la pedagogía activa para la comprensión, opaca o invisibiliza el proceso. Sin embargo, la resistencia debe vencerse incorporando estrategias comunicativas, para fortalecer el proceso y compromiso, en amenos entornos colaborativos de aprendizaje, mediados por las TIC.

En el aprendizaje de las ciencias, estos entornos dinámicos son importantes para *aprender a aprender*, porque, incorporan bases de datos, contrastables con literatura científica y simuladores de procesos y de simulación molecular para el análisis químico; estas herramientas de tecnología blanda, pero relevante, son vitales para que el estudiante desarrolle el pensamiento crítico, en la comparación y contraste de resultados en pruebas espectroscópicas frente a las bibliotecas digitales disponibles en los equipos robustos.

Mientras que para Díaz-Barriga (2013): “La evaluación formativa ofrece elementos para analizar la forma en que funcionan las secuencias de aprendizaje establecidas y, al mismo tiempo, permite construir algunas evidencias que se tomarán en cuenta para la evaluación sumativa o de certificación”; para Monereo (2009):

La evaluación aplicada de esa manera, se constituye en una verdadera *evaluación auténtica*, dado que, se caracteriza por valorar especialmente el proceso de decisión necesario para resolver un problema complejo, en el que deben activarse y aplicarse coordinadamente distintos conocimientos y competencias, y donde hay que demostrar la capacidad estratégica imprescindible para autorregular la propia conducta y ajustarse a los cambios inesperados, justificando posteriormente las acciones (p.12).

En suma, la complejidad de la formación requiere la combinación de criterios e instrumentos eficaces que permitan comprender todas sus dimensiones y promover la evaluación, como fin del proceso formativo.

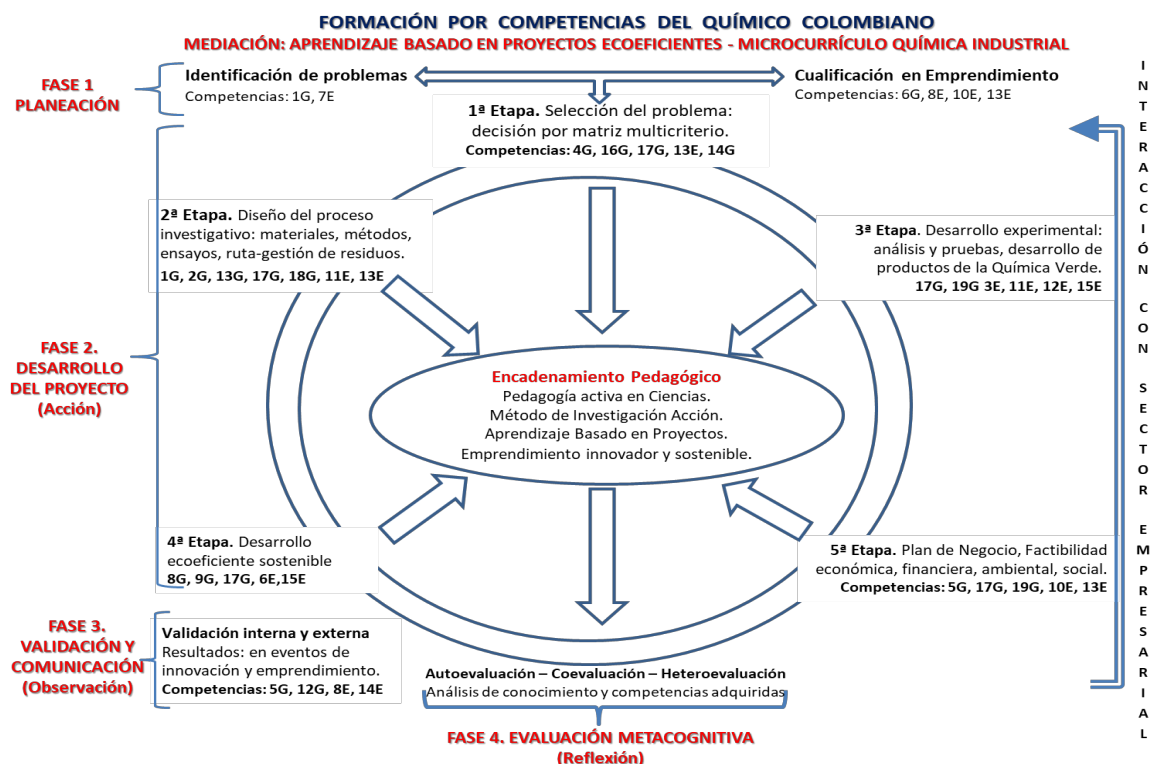
### Materiales y métodos

El método aplicado fue el de Investigación Acción (aplicado en la comunidad educativa de ECQ-UPTC). Se desarrolló mediado por la metodología ABP-E se aplicó en tres momentos: los resultados del aprendizaje (adquisición de competencias); la calidad de los procesos de cara a la comunidad de aprendizaje (resultados educativos) y la evaluación auténtica como herramienta para gestionar aprendizajes y garantizar la calidad de conocimientos, habilidades y actitudes, aplicables de manera activa y eficiente (Hernández y Baptista, 2005), para resolver problemas reales (aprendizaje experiencial), en contextos profesionales reales.

### Fases de la investigación

El proceso de Investigación Acción (IA), se desarrolló en cuatro fases: planificación, acción, observación y reflexión. Partiendo de los escenarios descritos en la figura 3, las cuatro fases metodológicas se desagregan en diferentes etapas, potenciando las competencias individuales genéricas o transversales (G) y específicas (E), desarrolladas por el estudiante como sujeto cognoscente y coinvestigador del proceso; bajo el estricto cumplimiento de los 12 principios de la Química Verde (PQV).

Figura 3. Proceso de IA-E para la formación por competencias genéricas (G) y específicas (E)



Fuente: elaboración propia, incorporando las competencias según el PTAL-2013 (Nuño, 2009).

La fase reflexión (evaluación metacognitiva), permite generar los criterios relevantes para el re-direccionamiento para el siguiente ciclo (nuevo semestre), según los resultados del proceso de formación.

Uno de sus componentes es la heteroevaluación, cuyo eje central es el desarrollo del proyecto y el análisis del producto solución, estrategia metacognitiva que constituye un desarrollo microcurricular de máxima relevancia, en la transición de roles, de un estudiante de final de carrera, hacia un profesional en su contexto real (Monllor, 2013).

En esta innovación, el trabajo grupal y colaborativo, puede presentar debilidades, por falta de compromiso o poco acceso a las TIC y herramientas software avanzadas, así como equipos robustos tecnológicos; vitales para la motivación de los estudiantes en entornos colaborativos de aprendizaje y para jalonar una comunidad de aprendizaje en los semestres anteriores del currículo, al momento del encadenamiento (Monllor, 2013).

### Fase 1. Planeación

Identificación de problemas y cualificación en emprendimiento. Soportados en un conjunto de talleres de cualificación y entrenamiento metodológico para identificar problemas reales en contexto y en situaciones con distinto grado de inmersión profesional, en donde sea tangible el impacto sobre su entorno.

Apoyados en modelos pedagógicos por competencias y formación de emprendedores. (Antón, 2013, Brooks, 2005 y Ursache, 2013), se analizan diferentes situaciones (eventos problema) verosímiles, próximas a las prácticas reales de la comunidad profesional de destino, descartando emulaciones y simulaciones.

Se actúa para fortalecer las competencias: *capacidad de abstracción, análisis y síntesis* (1G) y *capacidad para la planificación, el diseño y la ejecución de proyectos de investigación* (7E), para formular preguntas coherentes y pertinentes, respecto del problema abordado (bajo el análisis sistémico del contexto), enmarcado en la tipología de problemas: prototípicos (proyecto de innovación) o emergentes, provenientes de redes profesionales o de cooperación (Monereo, 2009).

Se privilegian soluciones sostenibles, proyectando un espíritu emprendedor para crear empresas innovadoras, con lo cual se trabaja sobre las competencias: *compromiso con su medio socio-cultural, dominio de la terminología química, nomenclatura, convenciones y unidades, conocimiento de otras disciplinas científicas*

*que permitan la comprensión de la química, capacidad de actuar con curiosidad, iniciativa y emprendimiento* (6G, 8E, 10E, 13E).

### Fase 2. Acción: desarrollo del proyecto ecoeficiente

- **Primera etapa. Selección del problema.** Decisión por aplicación de una matriz de multicriterio para la clasificación y selección del problema de investigación.

Revisión analítica de literatura actual -estado del arte- para identificar preliminarmente si el tema y objeto ha sido poco estudiado y/o poco investigado; privilegiando problemas comunes y novedosos, analizando en profundidad, los alcances de las soluciones propuestas y la satisfacción del mercado de destino.

Durante la formulación del problema y la propuesta de creación de un producto derivado de la investigación, se actúa sobre las competencias: *habilidades para buscar, procesar y analizar información, capacidad de motivar y conducir hacia metas comunes, capacidad de trabajo en equipo, capacidad de actuar con curiosidad, iniciativa y emprendimiento, capacidad para tomar decisiones* (4G, 16G, 17G, 13E, 14G).

*Evaluación No.1.* Socialización del problema caracterizado. Planteamiento y contraste de hipótesis, mapas conceptuales iniciales, estrategias, resultados esperados frente al problema caracterizado.

- **Segunda etapa. Diseño del proceso.** Análisis y construcción de diagramas de proceso, planeación de: materiales, ruta crítica, número de ensayos; ruta de gestión de residuos y cargas contaminantes. Las competencias son: *capacidad de abstracción, análisis y síntesis, capacidad de aprender y actualizarse, habilidades en el uso de las tecnologías de la información, capacidad de trabajo en equipo, capacidad para organizar y planificar el tiempo, habilidades en el seguimiento a través de las medidas y observación de propiedades químicas, eventos o cambios y su recopilación-documentación de forma sistemática y fiable, capacidad de actuar con curiosidad, iniciativa y emprendimiento.* (1G, 2G, 13G, 17G, 18G, 11E, 13E).

*Evaluación No. 2.* Retroalimentación del proceso. Socialización de avances parciales del proceso. Cada grupo reflexiona sobre la transformación dada su proyecto y lo evalúa de forma autocrítica, frente a los logros alcanzados en la tercera etapa. Se interacciona con aportes, para apoyar y coevaluar a sus pares.

- **Tercera etapa. Fase experimental.** Desarrollo de protocolos, rutas, pruebas, análisis fisicoquímico,

microbiológico, órgano sensorial y químico (cualitativo y cuantitativo). Las competencias desarrolladas son: *capacidad de trabajo en equipo, capacidad para actuar en nuevas situaciones, capacidad para interpretar y evaluar datos derivados de observaciones y mediciones relacionándolos con la teoría, habilidades en el seguimiento a través de las medidas y observación de propiedades químicas, eventos o cambios y su recopilación-documentación de forma sistemática y fiable, capacidad de actuar con curiosidad, iniciativa y emprendimiento, dominio de las buenas prácticas de laboratorio, habilidad para aplicar conocimientos de la química en el desarrollo sostenible.* (17G, 19G 3E, 11E, 12E, 15E).

*Evaluación No. 3.* Retroalimentación de los resultados. Evaluación de la competencia experimental en el proceso investigativo, planificación contra ejecución del plan de trabajo, desde los escenarios del aprendizaje y la experimentación sostenible. Se autoevalúa y coevalúa cómo se resolvió la situación. Se usó la metodología de discusión crítica en grupo propuesta en Brooks (2005).

*Evaluación de avance No. 4.* Revisión del equipo docente responsables del curso.

Desarrollo basado en el seguimiento de los grupos, sobre la identificación y caracterización del problema, identificación de variables, diseño experimental ecoeficiente, recogida de datos.

Se enfatiza en el procesamiento de datos cuantitativos y cualitativos asociados, para consolidar la información relevante, el manejo de réplicas, reprocesos y análisis de errores e incertidumbres.

- **Cuarta etapa. Desarrollo ecoeficiente sostenible.** Cálculo de indicadores e impactos generados. Plan de manejo y de gestión ambiental para los probables residuos contaminantes. Se revisa el compromiso, aptitud y actitud para gestionar y construir rutas de tratamiento de residuos, para mitigar impactos ambientales directos e indirectos. Las competencias generadas en esta etapa son: *responsabilidad social y compromiso ciudadano, compromiso con la preservación del medio ambiente, capacidad de trabajo en equipo, capacidad de mantenerse actualizado en el desarrollo de la química, habilidades para aplicar los conocimientos de la química en el desarrollo sostenible.* (8G, 9G, 17G, 6E, 15E).

- **Quinta etapa. Plan de Negocio.** Factibilidad: análisis económico, financiero, administrativo, legal, ambiental y social.

El compromiso activo del grupo se observa en los valores éticos, legales y ambientales de la sociedad y el entorno ideal de su trabajo, integrándose con responsabilidad social como ciudadano y profesional. Se desarrollan los indicadores por áreas, para determinar si el proyecto es factible, deseable y alcanzable. Las competencias son: *capacidad de comunicación oral y escrita, capacidad de trabajo en equipo, capacidad para actuar en nuevas situaciones, conocimiento de otras disciplinas científicas que permitan la comprensión de la química, capacidad de actuar con curiosidad, iniciativa y emprendimiento.* (5G, 17G, 19G, 10E, 13E).

### Fase 3. Observación: validación y comunicación

Es la ventana de visibilización de los resultados obtenidos, realizada mediante acciones de comunicación oral y escrita, con lenguaje científico descriptivo, criterios analíticos y normas técnicas, con suficiencia en argumentación, proposición y discusión de resultados.

- **Validación interna de resultados.** Se organiza la interacción del actor principal, el investigador-emprendedor mediante socialización en la comunidad de aprendizaje UPTC.

- **Validación externa.** Se realiza con la comunidad empresarial del área de influencia a través de eventos de innovación, emprendimiento y ronda de negocios con los inversores invitados por el evento, para la evaluación, premiación y financiación de los ganadores.

En esta fase se potencian las competencias: *capacidad de comunicación oral y escrita, habilidad para trabajar en contextos internacionales, dominio de la terminología química, nomenclatura, convenciones y unidades, conocimiento, aplicación y asesoramiento del marco legal en el ámbito de la química.* (5G, 12G, 8E, 14E).

### Fase 4. Reflexión: evaluación metacognitiva

Es la actividad permanente e integrada realizada horizontal y verticalmente sobre el proceso de formación. Los instrumentos de evaluación se someten al proceso de validación interna, mediante la aplicación de la Prueba Alfa Cronbach y el software SPSS versión 23.

- **Heteroevaluación.** Acciones aplicadas por el equipo docente, empresarios participantes y jurado evaluador en eventos de emprendimiento regional (validación externa). Se evalúa la argumentación del trabajo, solución tangible-sostenible y aprendizaje a través del proceso (validación endógena).



Es una acción que complementa la autoevaluación y coevaluación realizada en cada avance. El equipo docente aplica un instrumento validado, el cual se estructura con una escala tipo Likert en el rango de 1-5, que permite valorar el nivel de adquisición o logro de la competencia: 1 (no se alcanzó), 2 (en forma deficiente), 3 (en forma limitada), 4 (en forma sobresaliente), 5 (totalmente).

El instrumento de evaluación es de aplicación individual y su objeto es determinar según la propia percepción del estudiante, el nivel de adquisición de competencias, resultado del proceso educativo desarrollado.

- **Autoevaluación:** Es una actividad que puede introducir elementos de sesgo o asimetría, respecto a un juicio de valor, emitido por simpatía, afinidad, amistad, conflicto de intereses personales o comunes, por parte de los estudiantes.

El instrumento anexo propuesto, validado y aplicado por la autora, está soportado en ocho dimensiones metacognitivas de aprendizaje autónomo. Cada una consta de cinco competencias, para un total de 40 competencias evaluadas. Las dimensiones son: habilidades interpersonales, capacidad de trabajo en equipo, análisis de relaciones conceptuales, manejo de fuentes y análisis de información, pensamiento lógico-conceptual y crítico, capacidad de adaptación a la innovación pedagógica (para evaluar la pertinencia del actor con la metodología IA), habilidades de comunicación verbal y habilidades de comunicación escrita.

La evaluación cuantitativa está basada en una puntuación a través de la Escala Likert (1-5), sobre diferentes percepciones relacionadas con las estrategias metacognitivas para el aprendizaje autónomo, incorporadas al: organización, autorregulación (Díaz F., 2003), metacognición (Tovar, 2005), manejo del tiempo, regulación del esfuerzo, aprendizaje con pares (Monllor 2012, 2013 y Ursache, 2013), y la búsqueda de ayuda (Antón, 2013).

- **Coevaluación.** Complementa la evaluación formativa longitudinal y es realizada en forma cualitativa; sin embargo, se aplica un instrumento de formato universal para recabar elementos cuali-cuantitativos de sus pares, en la cual se registran 5 fortalezas y 5 debilidades del respectivo proyecto. En el mismo instrumento, el grupo realiza n-1 evaluaciones.

**Diseño.** *Tipo de investigación:* descriptivo y relacional, para determinar los vínculos conceptuales y aplicados entre las diferentes dimensiones, categorías, variables y estrategias.

*Población del estudio:* Ochenta (80) estudiantes, quienes cursaron la asignatura química industrial en octavo semestre del Programa Profesional en Química de la UPTC.

- *Grupo objetivo:* intervenido con el ABP-E, una metodología activa muy relevante, realista y de máxima proximidad con la comunidad profesional (figura 2) y con evaluación auténtica de competencias, como acción garante del proceso de aprendizaje (formativo).

- *Grupo control:* se le impartió la cátedra de química industrial, mediante el método pasivo (agente receptor) tradicional, sin cualificación en ABP ni en emprendimiento. Los estudiantes reciben un problema predeterminado por la docente, para su resolución, bajo un conjunto de requisitos, una guía de laboratorio y los *syllabus* de la asignatura. Su evaluación es de tipo sumativa, al final del proceso (heteroevaluación).

*Tipo de estudio:* Longitudinal, a través de seis semestres académicos, durante los años 2014 a 2016.

*Instrumentalización:* La metodología encadena los eslabones de aprendizaje ABP y la formación emprendedora, con lo cual se articularán los elementos Investigación Acción, así como los pedagógicos y didácticos del modelo de formación en emprendimiento.

*Operacionalización:* Los proyectos se planifican y ejecutan por parejas de estudiantes organizadas libremente, sin criterios de asociación, al libre albedrío. Cada grupo identifica y caracteriza un problema real, delimitando su aporte a una solución innovadora, verde y ecoeficiente, pertinente con los principios del Desarrollo Sostenible, los principios de sostenibilidad y de las competencias en química verde (Valiente, 2016).

Los resultados posibilitan las reflexiones semestrales (background de experiencias acumuladas), para redefinir acciones de mejora con la siguiente cohorte semestral y consolidar la comunidad de aprendizaje.

El grupo construye un portafolio, para registrar las evidencias físicas, fotográficas y filmicas de su avance.

*Intervenciones:* La Investigación Acción es un método de investigación cualitativa. Es importante señalar que en desarrollo de la metodología ABP-E, corresponde a un análisis relacional con categorías analíticas. Para desarrollar el objetivo de evaluación metacognitiva, se aplican mediciones soportadas con parámetros numéricos en especial para el tratamiento de datos.

*Análisis estadístico:* Para la validación cualitativa, se analizan y evalúan los criterios y se asignan los juicios (respuestas, opiniones, discursos) sobre la calidad de los productos y del proceso de formación.

El tratamiento estadístico se realiza por medidas o métricas de escala, agrupando las puntuaciones (valor del ítem) por modas (agrupaciones visuales), mediante la técnica estadística de “análisis de actitudes” (por categorización de variables).

Para cada ítem, se tabula el número de respuestas en la respectiva categoría (1 a 5).

Se obtiene la media ponderada de cada ítem (como un valor, no como estadístico), usando:

Para el análisis de información de las ocho dimensiones metacognitivas de aprendizaje, las puntuaciones de cada ítem, se organizan en las siguientes “agrupaciones visuales”:

1-2 = actitud muy desfavorable,

Mayor a 2, hasta 3 = actitud desfavorable,

Mayor a 3, hasta 4 = actitud favorable,

Mayor de 4, hasta 5 = actitud muy favorable.

Los resultados se tabulan y procesan usando el software SPSS 23 de Microsoft, cuya “vista de variables” son 40 y las cuatro agrupaciones; mientras que, la “vista de datos”. Los valores obtenidos se presentan, en donde la columna “valor” del ítem, es el cuantificador que permite ubicar el ítem (variable) en la respectiva agrupación (actitud).

## Resultados

Para el grupo objetivo, las dimensiones metacognitivas produjeron las siguientes evaluaciones en la unidades de la escala cuantitativa 1 a 5, media y desviación estándar, respectivamente: habilidades interpersonales (4.64 ±0.34), capacidad de trabajo en equipo (4.56±0.39), análisis de relaciones conceptuales (4.61±0.14), manejo de fuentes y análisis de información (4.63±0.15), pensamiento lógico-conceptual y crítico (4.37±0.46), capacidad de adaptación a la innovación pedagógica (4.39±0.12), habilidades de comunicación verbal (4.22±0.18) y habilidades de comunicación escrita (4.13±0.13).

Respecto a la adquisición de competencias, en su orden cualitativo fueron: en el conocimiento y la interacción (caracterización) del problema relevante; autonomía

e iniciativa personal; competencia social y ambiental; aprender a aprender; competencia comunicativa verbal (lingüística y audiovisual).

La evaluación del aprendizaje del grupo objetivo, está referida a las transformaciones cognitivas y actitudinales que posibilitaron el desarrollo autónomo de competencias interdisciplinares, desde la perspectiva metacognitiva (Tovar, 2005) y la solución de problemas mediante el emprendimiento en ciencias (Flavell, 1976).

En términos de productos generados por el binomio aula-laboratorio, la productividad del encadenamiento se evidencia en los innovadores productos ecoeficientes desarrollados por los estudiantes: bioplásticos a partir de biomasa vegetal residual, materiales poliméricos, pinturas a partir de desechos de curtidurías fragancias a partir de extractos de plantas aromáticas regionales, cerveza artesanal a base de tubérculos, infusiones aromáticas encapsuladas, jabón líquido antibacterial, jabón líquido a partir de residuos grasos de biomasa, biopolímeros; cremas a base de productos naturales, desinfectante para caninos; insecticida orgánico a base de ají, aditivos naturales para la conservación de cárnicos, entre otros.

Estos productos ecoeficientes desarrollados por la nueva generación de químicos colombianos, fueron socializados y evaluados por pares externos en cinco eventos regionales de innovación, emprendimiento e investigación. Los reconocimientos se evidencian en seis galardones: dos innovaciones biotecnológicas, dos de creatividad y dos contratos de tecnología, uno con el *Silicon Valley Travel* Latinoamérica.

Mediante un análisis de varianza Anova, a un nivel de significancia del 5%, se evidenciaron diferencias significativas entre las medias de adquisición (calificación) de competencias, entre el grupo objetivo y el grupo de control.

En el orden cuantitativo, las evaluaciones del curso del grupo objetivo, superaron al de control en un 22,2%; evidenciando una mayor productividad y demostrando las bondades de la innovación educativa de formación por competencias, basada en la estrategia metacognitiva mediada por el Aprendizaje Basado en Proyectos Ecoeficientes y emprendidos.

El eslabón del emprendimiento se incorporó como una forma de pensar, razonar y actuar, para encontrar oportunidades, con enfoque verde, liderazgo y compromiso, perseverancia, autoconfianza, así como capacidad de trabajar en equipo (Nueno, 2009).

Después de la reflexión (evaluación) semestral, los estudiantes de la nueva cohorte han movido la frontera del conocimiento aplicado hacia una posición de desequilibrio, en donde el pensamiento convergente, les permita gestionar procesos analíticos más refinados, y que en lugar de transcribir un plan de negocios, promuevan nuevos comportamientos y competencias, así como el desarrollo y la utilización de nuevas herramientas de la química verde para mejorar el análisis reflexivo y longitudinal del tejido empresarial, en un sistema socioeconómico, que aún no encuentra un rol definido para un egresado en química.

Sin embargo, los resultados evidencian en forma cualitativa y cuantitativa, la irrupción de líderes gestores de un conocimiento coherente y responsable con el desarrollo sostenible, capaces de intervenir escenarios del sector productivo, emprendiendo bioempresas con aplicación de la química orgánica e inorgánica industrial limpia, con soluciones ambientalmente sanas, pertinente con los principios de la química verde.

### Discusión de resultados

La evaluación del aprendizaje del Grupo Objetivo, está referida a las transformaciones cognitivas y actitudinales que posibilitaron el desarrollo autónomo de competencias interdisciplinarias, desde la perspectiva metacognitiva (Tovar, 2005) y la solución de problemas mediante el emprendimiento en ciencias (Flavell, 1976).

Respecto a la adquisición de competencias, en su orden cualitativo fueron: en el conocimiento y la interacción (caracterización) del problema relevante; autonomía e iniciativa personal; competencia social y ambiental; aprender a aprender; competencia comunicativa verbal (lingüística y audiovisual).

En términos de output generados por el binomio aula-laboratorio, la productividad del encadenamiento se evidencia en los innovadores productos ecoeficientes desarrollados por los estudiantes: bioplásticos a partir de biomasa vegetal residual, materiales poliméricos, pinturas a partir de desechos de curtidurías fragancias a partir de extractos de plantas aromáticas regionales, cerveza artesanal a base de tubérculos, infusiones aromáticas encapsuladas, jabón líquido antibacterial, jabón líquido a partir de residuos grasos de biomasa, biopolímeros; cremas a base de productos naturales, desinfectante para caninos; insecticida orgánico a base de ají, aditivos naturales para la conservación de cárnicos, entre otros.

Estos productos ecoeficientes desarrollados por la nueva generación de químicos, fueron socializados y

evaluados por pares externos en cinco eventos regionales de innovación, emprendimiento e investigación. Los reconocimientos se evidencian en seis galardones: dos innovaciones biotecnológicas, dos de creatividad y dos contratos de tecnología, uno con el *Silicon Valley Travel* Latinoamérica.

La evaluación metacognitiva comparada entre del Grupo Objetivo GO vs. Grupo de Control GC, realizada por el equipo docente, usando la misma Escala Likert produjo los siguientes resultados, sobre las competencias adquiridas: No se alcanzó (GO = 0%, GC = 3%), se alcanzó en forma deficiente (GO = 2%, GC = 8%), se alcanzaron en forma limitada (GO = 7%, GC = 74%), alcanzada en forma sobresaliente (GO = 87%, GC = 15%,) se alcanzó totalmente (4%, GC = 0%). Los promedios ponderados por la Escala fueron: GO=4.3 y G.C=3.15.

En el encadenamiento los estudiantes tienen la oportunidad de aprender de forma dinámica e incremental nuevos enfoques de emprendimiento, en términos de innovación, creatividad, adecuación y desarrollo cognitivo.

Después de la reflexión (evaluación) semestral, los estudiantes de la nueva cohorte han movido la frontera del conocimiento aplicado hacia una posición de desequilibrio, en donde el pensamiento convergente, les permita gestionar procesos analíticos más refinados, que en lugar de transcribir un plan de negocios, promuevan nuevos comportamientos y competencias, así como el desarrollo y la utilización de nuevas herramientas de la química verde para mejorar el análisis reflexivo y longitudinal del tejido empresarial, en un sistema socioeconómico, que aún no encuentra un rol definido para un egresado en química.

Sin embargo, los resultados evidencian en forma cualitativa y cuantitativa, la irrupción de líderes gestores de un conocimiento coherente y responsable con el desarrollo sostenible, capaces de intervenir escenarios del sector productivo, emprendiendo bioempresas con aplicación de la química orgánica e inorgánica industrial limpia, con soluciones ambientalmente sanas, pertinente con los principios de la química verde.

### Conclusiones

El encadenamiento es una innovación en el aprendizaje universitario de las ciencias en Colombia, porque desde la formación emancipadora por competencias y la evaluación metacognitiva (*auténtica*) del proceso, potencia el aprendizaje autónomo en el campo de innovación ecoeficiente con emprendimiento.

La competencia de producción química ecoeficiente, con aptitud emprendedora, proyecta a una persona formada en ciencias, con autoestima y responsabilidad social empresarial, de promisorio posicionamiento profesional en el campo industrial regional y nacional; por su capacidad de liderar procesos de producción ambientalmente sanos y de trabajar en equipo para la resolución de problemas prototípicos reales.

El resultado a corto plazo será un egresado en química con perfil y liderazgo en investigación e innovación, autónomo, con pertinencia regional en aprovechamiento de recursos naturales y biomasa vegetal residual.

La innovación educativa incubada en la UPTC, pretende ser un piloto a nivel nacional, para ser escalado en las diferentes escuelas de formación de química, en los niveles aplicados de pregrado y maestría, redireccionando al emprendimiento hacia nuevas líneas de investigación en bioempresa para intervenir en la aplicación de soluciones biotecnológicas de alto valor agregado. Además de gestión del conocimiento, constituye un aporte tangible para que el egresado aplique a la cofinanciación contingente y beneficios tributarios excepcionales derivados de la Ley 1429 de 2010 (primer empleo), dirigida a jóvenes recién egresados que creen nuevas y pequeñas empresas, especialmente de base tecnológica.

### Referencias bibliográficas

- Anastas, P y Warner, J. (1998). *Green chemistry theory and practice*. New York: Oxford University Press.
- Antón, R. Gastelurrutia, J. Ramos, J. Rivas, A y Larraona, G. (2013). Learning through a Multiple Approach Competing Practical Exercise -MACPE: a case study with a teacher's and a student's assessment. *International Journal of Engineering Education* 27 (4), 805-812.
- Brooks, B y Koretsky, M. (2005). The influence of group discussion on student's responses and confidence during peer instruction. *J. Chem. Educ* 88,1477-1484.
- Brooks-Young, S. (2005). Project-Based Learning: Technology Makes It Realistic! *Today's Catholic Teacher*. 38(6), 35-39.
- Carr, W y Kemmis, S. (1988). Teoría crítica de la enseñanza. La investigación-acción en la formación del profesorado. Barcelona: Martínez Roca. *Integra Educativa*, 3(2).
- Díaz, Á. (2013). TIC en el trabajo del aula. Impacto en la planeación didáctica. *Revista Iberoamericana de Educación Superior* 4(11), 3-21. En: <http://ries.universia.net/index.php/ries/article/view/340>.
- Díaz, F. (2003). Cognición situada y estrategias para el aprendizaje significativo. *Revista Electrónica Investigación Educativa* 5(2),1-13.
- Flavell, J. (1976). Metacognitive Aspects of Problem Solving. En: Resnick, L. B. (Ed.): *The Nature of Intelligence*. New Jersey: Lawrence Erlbaum Associates.
- Hernández, R. Fernández, C y Baptista L. (2005). *Metodología de la investigación*. México: McGraw-Hill. 4ª. Edición.
- Mills, J. y Treagust, D. (2013). Engineering Education – Is Problem-based or Project-based Learning the answer? *Australasian Journal of Engineering Education*, online publication: 1–16.
- Ministerio de Educación de Colombia. Observatorio laboral para la educación. *Boletín Educación Superior en Cifras*, año 2015. Disponible en: <http://www.mineducacion.gov.co/1759/w3-article-350451.html>
- Monereo, C. (2009). La autenticidad de la evaluación. En Castelló, M. (Coord.) *La evaluación auténtica en enseñanza secundaria y universitaria*. Barcelona: Edebé, Innova Universitat.
- Monllor, D. Guillén, E. Lana, T. Bonete, P. y Gómez, R. (2012). La evaluación por pares como método de enseñanza aprendizaje de la Química Física. Departamento de Química Física Universitat d'Alacant. En: <https://web.ua.es/es/ice/jornadas-redes-2012/documentos/posters/246158.pdf>.
- Monllor, D. Lana, T. Bonete, P y Gómez, R. (2013). Assessment of competences in the Physical Chemistry area: use of the department teaching portfolio. XI Jornadas de Redes de Investigación en Docencia Universitaria (Universidad de Alicante), 1922-1935.
- Nueno, P. (2009). Emprendiendo hacia el 2020: Una renovada perspectiva global del arte de crear empresas y sus artistas. Deusto: España.
- Perkins, D. y Blythe, T. (1997). *Ante todo la comprensión. Enseñanza para la comprensión, introducción a la teoría y su práctica*. Mimeo. Harvard University, 7-11.

- Perrenoud, P. (2013). *Diez nuevas competencias para enseñar*. En: <https://www.uv.mx/dgdaie/files/2013/09/Philippe-Perrenoud-Diez-nuevas-competencias-para-ensenar.pdf>.
- Timmons, J. y Spinelli Jr, S. (2013). *New Venture Creation: Entrepreneurship for the 21st Century*. New York: Mc Graw Hill/Irwing Management.
- Tovar-Gálvez, J. (2005). Evaluación metacognitiva y el aprendizaje autónomo. En: *Tecné Episteme y Didaxis*. Segundo Congreso Sobre Formación de Profesores de Ciencias. Universidad Pedagógica Nacional. Bogotá D.C.
- Ursache, N. y Mares, C. (2013). On Student Skill Development through Integration of Industrial Expertise in Module Delivery. *The international Journal of Engineering Education* 29(5), 1126-113.
- Valiente, A & Galdeano, C. (2016). Chemical engineering and competences in ecology. *IJRET* 5(3), 145-151.