

Experiencias de metodología CDIO en Ingeniería de Minas y en Ingeniería Civil

Experiences in CDIO Methodology in Mining Engineering and Civil Engineering

J.A. Ramirez Masferrer¹, J. Herrera Herbert², P. Kindelan Echevarría³
j.ramirez@upm.es, juan.herrera@upm.es, kmanga_009@yahoo.es

¹Ingeniería Civil Construcción
Infraestructura y Transporte
Universidad Politécnica de Madrid
Madrid, España

²Ingeniería Geológica y Minera
Universidad Politécnica de Madrid
Madrid, España

³Lingüística Aplicada a la Ciencia y
Tecnología
Universidad Politécnica de Madrid
Madrid, España

Resumen- A menudo, los alumnos creen, que los estudios de ingeniería son demasiado difíciles, o hace falta poseer una inteligencia o preparación muy especial para acometerlos con éxito. EIT – Raw Materials, procurando futuros profesionales adaptados a los nuevos entornos actuales, desarrolla proyectos educativos implementando la iniciativa CDIO (Concebir – Diseñar – Implementar – Operar), que potencia el aprendizaje, ayudando a los alumnos a aprender disfrutando. La idea es despertar su interés, proponiéndoles el desarrollo completo de proyectos creativos, explicándoles la metodología CDIO, acompañados por un tutor. La metodología CDIO, hace hincapié en el fundamento de la ingeniería para resolver problemas. En este estudio se presentan, como antecedentes, experiencias desde 2001, para centrarse en las actuales, asociadas a un Proyecto de innovación educativa que está terminando de desarrollarse en el momento en que se escribe este estudio, constatando que la metodología mejora el interés de los alumnos, y el aprendizaje. La experiencia que se presenta, se hace sin ayuda material de ningún tipo, ni facilitando material, ni laboratorio alguno. Aún así, los alumnos, consiguen, presentar soluciones muy interesantes, de todo tipo, incluso de software, robóticas u otras. Se constata que los estudiantes prefieren actividades prácticas que complejos cálculos matemáticos.

Palabras clave: *CDIO, Aprendizaje adaptativo, Aprendizaje basado en proyectos, Aprendizaje experimental.*

Abstract- Often students believe that engineering studies are too difficult or that it takes a very special intelligence or preparation to undertake them successfully. EIT - Raw Materials, seeking future professionals adapted to current new environments, develops educational projects implementing the CDIO initiative (Conceive - Design - Implement - Operate), which enhances learning and helps students learn while enjoying themselves. The idea is to awaken their interest by proposing the complete development of creative projects, applying the CDIO methodology guided by a tutor. The CDIO methodology emphasizes the foundations of engineering to solve problems. This study presents, experiences conducted since 2001 at Universidad Politécnica de Madrid (no sé si quieres mencionar las escuelas que lo están trabajando: Minas y Civil) and is focused on the current ones going on right now. These, in fact, are being developed in an educational innovation project that is being carried out at the time this study is written, verifying that the methodology improves

the interest of the students. students, and learning. The experience that is presented is done without any material aid or equipment provided to students or the use of any laboratory. Even so, the students manage to present very interesting solutions, of all kinds, including software and robotics. It is shown that students prefer practical activities than complex mathematical calculations.

Keywords: *CDIO, Adaptive learning, Project Based Learning, Experimental Learning.*

1. INTRODUCCIÓN

La iniciativa CDIO es un marco educativo pensado para los estudiantes de ingeniería, nacido con la idea de enfatizar los fundamentos de la ingeniería en sí (Conceive Design Implement Operate home page <http://CDIO.org>).

La palabra ingeniería, y la base de CDIO están íntimamente ligadas, pues la tecnología CDIO se podría plantear como el uso del “ingenio” para abordar (académicamente) problemas reales, usando los principios ingenieriles y científicos.

Los pioneros y demás colaboradores de la iniciativa CDIO adoptan una metodología a nivel internacional, que tiene estos cuatro pasos en el proceso creativo: 1/ Concebir – 2/ Diseñar – 3/ Implementar – 4/ Operar (representada por sus iniciales: CDIO) en el marco de la planificación curricular y evaluación basada en resultados (Conceive Design Implement Operate home page <http://CDIO.org>).

La iniciativa CDIO ha pasado de cuatro centros fundadores iniciales (MIT, Chalmers, KTH y Linköping University) a una comunidad de más de 130 instituciones por todo el mundo. Los colaboradores de esta iniciativa intercambian experiencias y prácticas aprendiendo unos de otros (Conceive Design Implement Operate home page <http://CDIO.org>), compartiendo conocimientos en el día a día, y también a través de reuniones y congresos específicos.

El aprendizaje CDIO se establece en torno a la pedagogía centrada en el estudiante, fomentando la habilidad práctica basada en proyectos (Manna, S. Ghazal Sheikholeslami, G.

and Nortcliffe, A., 2020), que, una vez enunciados por el profesor, el alumno debe desarrollar debidamente y bajo la tutela del profesor que hace de guía.

Toda esta información está detallada en las Actas de la XVI Conferencia internacional CDIO, que tuvo lugar en la Universidad Tecnológica de Chalmers, en Gotemburgo, Suecia (del 8 al 10 de junio de 2020), a la cual asistieron dos de los autores de este estudio.

Además, la metodología CDIO, anima a alumnos a seguir las asignaturas de manera más continua, evitando lo que académicamente hablando ha venido a llamarse “Atracones y purga”, en los que los alumnos, poco antes del examen “se atracan” a estudiar, soltándolo todo en el momento del examen (purga), incluso estudiando solamente las preguntas que suelen caer o se repiten en los exámenes (Yew Fei Tang and Wilson, H., 2020) . Estos ejercicios de memoria a corto plazo evitan que realmente aprendan y adquirieran conocimientos fundamentales que precisan en la carrera de ingeniería.

La metodología CDIO encaja perfectamente en el aprendizaje asociado a la evaluación continua, a la cual se están adaptando todos los grados en el marco del Espacio Europeo de Educación Superior (EEES) .

Muchos autores consideran que, dentro de la estrategia de animar al alumno al aprendizaje continuo, los desafíos son parte fundamental (Lavecchia, A. M., Lui, H. and Oreopoulos, P., 2016). , y por lo tanto, tecnologías como CDIO colaboran de una manera muy importante en el proceso.

En palabras de Richard Feynman: Se debe animar a los estudiantes, a pensar, dudar, comunicar, aprender de sus errores, y lo más importante, divertirse.

2. CONTEXTO

Hay muchas experiencias de aprendizaje basadas en proyectos como las mostradas en el trabajo de Petersen & Nassaji (Petersen, C. and Nassaji, H., 2016). o de aprendizaje basado en problemas como las que se muestran en los estudios de Savery (Savery, J., 2006) o en aprendizaje experimental presentado en los estudios McDonald & Spence (McDonald, M. and Spence, K., (2016).

Tal y como presentan Konak, Clark, & Nasereddin, el aprendizaje experiencial promueve muchas habilidades prácticas en los alumnos (Konak, A., Clark, T. and Nasereddin, M. 2014) y todas ellas son la base del trabajo CDIO presentado en los estudios de Ye & Lu (Ye, W. and Lu, W., 2011). y asimismo Konak, Clark & Nasereddin (Konak, A., Clark, T. and Nasereddin, M. 2014).

En la bibliografía pueden encontrarse múltiples experiencias dentro del marco CDIO como la del equipo académico de la Canterbury Christ Church University (Manna, S. Ghazal Sheikholeslami, G. and Nortcliffe, A., 2020) con cursos de ingeniería, a través de proyectos creativos, cuya idea es hacer que los alumnos se den cuenta de que pueden diseñar un proyecto complejo a partir de una idea sencilla (Manna, S. Ghazal Sheikholeslami, G. and Nortcliffe, A., 2020).

En algunos casos, se ha intentado detectar con encuestas la razón de que algunos alumnos de ingeniería no se sentían preparados para afrontar esta carrera, o sentían serias dificultades al respecto, incluso produciendo el fracaso y/o abandono de los estudios. Generalmente, los mismos

estudiantes consideran que las ingenierías son difíciles, que son estudios que implican esfuerzo y tiempo considerable, o que no tienen la suficiente base en materias básicas, como, por ejemplo, en matemáticas; incluso que sólo los muy inteligentes podían estudiar ingeniería, disminuyendo notablemente el interés por estas ramas y asimismo la matriculación, tal y como argumentan Manna, Ghazal Sheikholeslami & Nortcliffe (Manna, S. Ghazal Sheikholeslami, G. and Nortcliffe, A., 2020).

Se sabe que, cuando los alumnos aplican la metodología CDIO, desarrollan pensamiento crítico, sobre problemas del mundo real, trabajan en equipo, implementan (desarrollan y concretan) sus ideas (Manna, S. Ghazal Sheikholeslami, G. and Nortcliffe, A., 2020) y se aprecia que esto les anima a adquirir nuevos conocimientos.

Algunos autores muestran que los estudiantes prefieren ver proyectos de ingeniería innovadores, en vez de cálculos y ecuaciones matemáticas complejas, por lo que este tipo de proyectos manuales (por llamarlos de alguna manera) suelen atraer al alumno y dar buenos resultados (Manna, S. Ghazal Sheikholeslami, G. and Nortcliffe, A., 2020).

Se ha demostrado que después de desarrollar un proyecto CDIO, los estudiantes se interesan más por los estudios de ingeniería (de un 25% a un 75%), y tras el desarrollo del proyecto CDIO, más alumnos continuaban estudios ingenieriles, y aumentaba el número de preguntas en clase, (Manna, S. Ghazal Sheikholeslami, G. and Nortcliffe, A., 2020). Asimismo, el hecho de que aumente la participación se asocia a un aumento del interés general por las asignaturas de una ingeniería.

A. CDIO en Ingeniería de Minas y en Ingeniería Civil.

La creciente complejidad de las operaciones mineras hace que el estudio de la Ingeniería de Minas sea cada vez más exigente, exigiendo amplios conjuntos de habilidades con el fin de conseguir nuevos perfiles de profesionales, adaptados a la actualidad, y capaces de gestionar cambios, (Herrera Herbert, J. and Ramirez Masferrer, J.A., 2019)

La producción de materias primas se está adaptando a gran velocidad a la nueva revolución digital, que hará que pocos profesionales, muy eficientes, manejen sistemas remotos, o automatizados, muy adaptados al reciclaje, al cuidado medioambiental, con bases de datos, recibiendo y emitiendo información ambiental, de producción, procesamiento, etc.

El cambio que está teniendo lugar en torno a las materias primas modifica el sector extractivo, asemejándolo a las mas punteras industrias. Eso hace que el sector de su obtención tenga que transformarse, aumentando la eficiencia, siendo menos derrochadores, reduciendo el consumo de energía, y aumentando el respeto al medio ambiente, con profesionales adaptados a este nuevo entorno más variado, cambiante y complejo.

a. EIT - Raw Materials y su apoyo a CDIO

El instituto Europeo de Innovación y Tecnología (EIT) se creó en 2008 como una iniciativa única de la Unión Europea para impulsar la innovación y el espíritu empresarial en toda Europa. Este instituto, apoya, entre otros, el desarrollo de asociaciones entre Universidades, colaboración universidad empresa (Comunidades de Conocimiento e Innovación – CCI).

El EIT - Raw Materials es, por excelencia, el instituto europeo más relacionado con la extracción y estudios de recursos y materias primas.

En EIT - Raw Materials, participan más de 120 socios europeos, industrias y universidades de más de 20 países de la Unión Europea.

EIT Raw Materials es el consorcio más grande del sector de materias primas a nivel mundial; teniendo socios que participan en todas las fases de la cadena de producción de materias primas, desde la exploración, a la puesta en industria, pasando por minería eficiente y sostenible, y por procesamiento de minerales, reciclaje, economía circular etcétera.

EIT Raw Materials mantiene la idea de convertir las materias primas en una de las principales fortalezas de Europa, buscando soluciones nuevas impulsando la competitividad, el crecimiento y nuevos enfoques educativos en el sector (EIT Raw Materials. Developing Raw Materials into a major strength for Europe, 2018).

Con el apoyo de EIT Raw Materials se han desarrollado proyectos educativos que implementan metodología CDIO en carreras relacionadas con la exploración minera, procesamiento de minerales y metalurgia (Herrera Herbert, J. and Ramirez Masferrer, J.A., 2019), procurando profesionales adaptados a los nuevos entornos actuales, y adaptables a los del futuro.

La comisión Europea opta por apoyar este tipo de proyectos. En concreto, parte de los profesores que componen el Grupo de Innovación Educativa “Innovatio Educativa Tertio Millennio” de la Universidad Politécnica de Madrid participa en dos proyectos europeos: El primero iniciado en 2016 con los siguientes socios: Universidad Tecnológica de Luleå (Suecia), Universidad Tecnológica de Chalmers (Suecia), Universidad Técnica de Clausthal (Alemania), Universidad Politécnica de Madrid (España), Universidad de Limerick (Irlanda), Luossavaara-Kiirunavaara AB - LKAB (Suecia), RUSAL Aughinish Alumina (Irlanda), Universidad Tecnológica de Delft (Países Bajos) y SP Sveriges Tekniska Forskningsinstitut AB (Suecia); y otro en 2018, formado por un consorcio entre la Universidad Tecnológica de Chalmers (Suecia), la Universidad Politécnica de Madrid - UPM o Universidad Técnica de Madrid (España), la Universidad Tecnológica de Luleå - LTU (Suecia), Clausthal Universidad de Tecnología - CUT (Alemania), Universidad de Limerick - UL (Irlanda), Luossavaara-Kiirunavaara Aktiebolag LKAB (Suecia) y RISE - Institutos de Investigación de Suecia.

En el sector de las materias primas y de la Ingeniería Civil, los desarrollos tecnológicos relacionados con la integración de sensores, sistemas modernos de información y comunicación (TIC) e inteligencia artificial (IA) solamente conducirán a innovaciones revolucionarias, si además incorporan aceptación social y medioambiental, respetan las limitaciones normativas y se adaptan al impacto social (Clausen, E., Edelbro, C., Herrera Herbert, J., Edström K. and Jonsson, K., 2017). Por ello el desarrollo de proyectos reales en docencia, tal y como plantea CDIO, forman parte de las enseñanzas del siglo XXI en este campo.

3. DESCRIPCIÓN

La EIT promueve el marco educativo innovador de la iniciativa CDIO, y hace hincapié en los fundamentos de la ingeniería. Se procuran futuros profesionales con mentalidad de innovación, espíritu empresarial, sostenibilidad, y calidad, basado en economía circular y respeto, además de un profundo conocimiento en la propia disciplina en que se incorpora la experiencia.

Los ejercicios propuestos, desde el año 2001 hasta la actualidad, por los profesores que participaron en este proyecto han procurado potenciar el triángulo “industria, ingenieros y estudiantes”, por lo que, en ellos, se anima a los estudiantes a consultar a empresas especializadas o a ingenieros en activo.

a. Experiencias anteriores

La primera experiencia tipo CDIO que el grupo de profesores, que actualmente forma el Grupo de Innovación Educativa “Innovatio Educativa Tertio Millennio” desarrolló, fue en el año 2001 en la Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Minas de la Universidad Politécnica de Madrid, planteando a los alumnos, un concurso de estructuras opcional, en el que participaron 45 estudiantes.

En esta primera experiencia el enunciado era directamente un “reto” en el que había que construir en madera ligera (madera de balsa), con uniones de cola, una estructura que salvase una luz (distancia entre apoyos) de 120 cm, siendo el peso máximo de la estructura 300 g.

Las estructuras se cargaban hasta rotura. La ganadora pesaba 145 g, y resistió 22 kg, es decir, más de 151 veces su peso propio (casi 152 veces). Los alumnos se entusiasmaron con el reto. Se editó un libro resumen de los trabajos de los estudiantes que lo desearon (25 trabajos) [Figura 1], y la acogida de la actividad por su parte fue espléndida, antes, durante y después de la misma, obteniendo evaluaciones muy buenas del trabajo, afirmando que les había servido para aprender, y para afianzar conceptos.

El eco de dicha actividad, llegó a la prensa nacional, y el Diario “El Mundo” publicó un artículo, a página completa, sobre el profesor titulado “El Ingeniero total” (https://www.elmundo.es/campus/2002/03/07/ultima/CAM220732_1.html).



Figura 1: Imagen de portada del libro “Torneo de estructuras”.

Como segunda experiencia, al año siguiente, se repitió el reto, esta vez con torres, aceptándose también el papel como material de construcción.

Este tuvo también gran aceptación por parte de los alumnos, que aprendieron y disfrutaron.

La tercera experiencia de este grupo de profesores, tuvo lugar en el año 2009 en la Escuela de Ingenieros técnicos de Obras Públicas (actualmente Escuela Técnica Superior de Ingenieros Civiles) de la Universidad Politécnica de Madrid. Esta vez se trataba de crear una máquina que realizase una serie de movimientos de una pesa de medio kg (desplazamientos verticales y horizontales).

Los alumnos, no solo aprendieron, sino que disfrutaron. Posteriormente se publicó un DVD [Figura 2] con dicha experiencia, y algunas de las soluciones que “Concibieron, Implementaron, Desarrollaron y Operaron” se han utilizado en cursos posteriores para explicar el principio de la asignatura “Maquinaria y medios auxiliares”.



Figura 2: Fotograma del DVD “La Máquina”.

La cuarta experiencia tuvo lugar en la misma Escuela, y se trataba también de máquinas. Esta vez eran ellas las que se desplazaban usando la energía potencial de una masa estándar. Posteriormente se las sometió a competiciones por parejas (una intentando desplazar a la contraria), hasta conseguir una máquina ganadora.

Sin apenas darse cuenta, los alumnos, no solo durante el desarrollo de su máquina, sino también observando la competición, asentaron conocimientos, de toda la asignatura, como potencia, energía, mecanismos, agarre al suelo, etcétera.

b. Experiencias recientes 2019-20 y 2020-21

Siguiendo esta línea de experiencias, la Universidad Politécnica de Madrid concedió un proyecto de Innovación educativa al Grupo de Innovación Educativa “Innovatio Educativa Tertio Millennio”, para el desarrollo de proyectos propios CDIO en el aula, en asignaturas de Ingeniería de Minas, y de Ingeniería Civil.

Los proyectos CDIO, suelen tener el enunciado de un problema concreto a resolver. Pero en el caso que se presenta en este estudio, el enunciado era mucho más abierto, dado que era el mismo alumno el que, en una primera fase, buscaba el problema que él mismo quería abordar usando métodos propios CDIO.

Como se intenta que el alumno vea como un desafío el proceso de inventiva y desarrollo, el enunciado termina con un interesante reto “Si. Tú puedes ser el próximo Steve Jobs”.

Una vez que el alumno ha elegido el ejercicio, el profesor utiliza una hora de clase para presentarlo, y explicar las metodologías propias del método CDIO, animando a seguir el camino Concebir – Diseñar – Implementar – Operar.

A veces, los alumnos desconocen las innovaciones actuales, por lo que, en la presentación del ejercicio, se les ponen como ejemplo, las más vanguardistas, y proyectos de investigación e ingeniería desarrollados en todo el Mundo. Esto aumenta su nivel de interés (Manna, S. Ghazal Sheikholeslami, G. and Nortcliffe, A., 2020).

El ejercicio es obligatorio, por lo que todos los alumnos (en equipos de entre 2 y 4) comienzan a trabajar, con la asistencia de un tutor, que a su vez intentará que sean realmente ellos lo que realicen el proceso, no que sigan directamente las recomendaciones del profesor.

De los 20 grupos (curso 2020-21), 15 fueron de 4 estudiantes, 4 fueron de tres, y uno fue de 2, realizando el ejercicio 74 alumnos.

Unos 30 días después de poner el enunciado, y habiendo asistido a las tutorías opcionales que desearan, todos los equipos realizan una primera presentación, y el profesor, la corrige, les puntúa, y les orienta.

Dado que en el curso 2020-21 las clases de la asignatura “Maquinaria y Medios Auxiliares” del Grado de Ingeniería Civil (UPM) han sido no presenciales, la presentación del trabajo CDIO por parte del alumno, y primera corrección puntuable por parte del profesor, ha sido a través de un foro en la plataforma Moodle, lo cual, en principio, podría tener la ventaja de que los estudiantes pueden consultar los comentarios del profesor, y las correcciones a todos los grupos en cualquier momento; si bien se ha observado que realmente no se consigue, pues cada alumno se interesa por la corrección que le hacen a su grupo, y no por las que les hace el profesor a otros grupos de trabajo. Preguntándoles por su falta de interés en aprender con la corrección a otros grupos, suelen plantear que lo hacen por falta de tiempo para dedicar a la asignatura.

En esta primera corrección se observa que, aproximadamente un 30% de los grupos, han elegido retos que el profesor considera muy interesantes, un 35% interesantes, un 20 % adecuados y a un 15% pueden replantear su tema del trabajo. Aproximadamente un 7% vuelven a comenzar con otro tema.

Es muy interesante el análisis de los grupos que tiene que replantear su tema. Fundamentalmente hay dos tipos: Unos 2/3 de estos suelen ser trabajos que realmente son muy superficiales, es decir que se aprecia claramente escasa dedicación de los alumnos, por lo que lo adecuado, es que olviden el poco trabajo que han realizado, y lo replanteen de nuevo desde cero, y el 1/3 restante, quizás algo más preocupante, son grupos que plantean ideas fantasiosas, que contradicen los principios básicos de la física, o con graves errores de magnitud. Por ejemplo, planteamientos que contradicen los principios de la termodinámica. Es preocupante un alumno de ingeniería que plantee soluciones en que las que la energía surge de la nada o bien mecanismos similares a móviles perpetuos.

La segunda entrega otros 75 días después, (contabilizando los días de vacaciones de Navidad) ya fue la definitiva. Entre las dos entregas, el profesor atiende a los alumnos en tutorías, orientándoles sobre el trabajo. La presentación por parte de los equipos de estudiantes, que habían realizando los trabajos, levantó un gran interés, pues las ideas y el desarrollo de las mismas eran realmente admirables. Buscando despertar su ingenio, el profesor les dejaba presentar solamente durante 5 minutos, y 5 minutos de preguntas (como dice el refrán, “Lo bueno, si breve, dos veces bueno”).

4. RESULTADOS

En cuanto al problema a resolver, al ser libre no tenía obligatoriamente que estar relacionado con la ingeniería, sin embargo se observa que aumentan los temas relacionados con ella en la entrega final (la 2ª) [Figura 3].

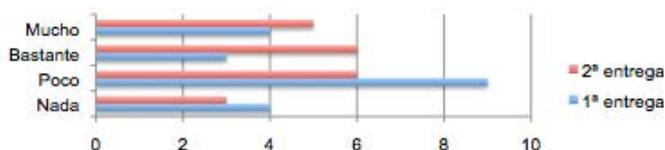


Figura 3: Temas relacionados con la ingeniería.

Muchos alumnos consiguieron terminar un modelo a escala funcional (7 grupos), y la mayoría construyeron algo, usaron programas informáticos o programaron soluciones muy interesantes, como se muestra en [Figura 4].

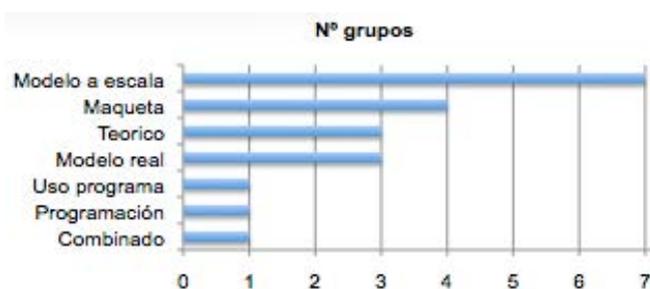


Figura 4: Tipo de ejercicios presentados por cada grupo.

Se ha observado, que en la primera entrega, muchos alumnos no llegan a desarrollar el proceso completo (Concebir – Diseñar – Implementar – Operar); solamente 5 lo completaron, habiendo incluso 6 grupos que no llegaron a completar ninguna de las fases, pero en la segunda entrega, casi todos consiguen completarlas (17 de 20 grupos), como muestra la [Figura 5].

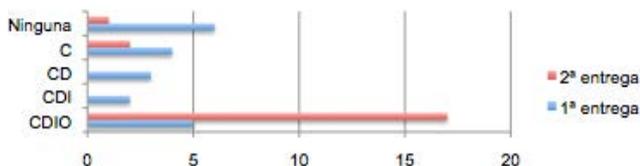


Figura 5: Fases CDIO completadas en cada grupo.

El primer impacto detectado ha sido el interés percibido en los participantes, pues, sin presupuesto económico, han realizado trabajos impresionantes. Algunos programando, otros presentando modelos funcionales, incluso con pequeños ordenadores (Arduino) con acciones de robótica, otros simplemente mecanismos muy ingeniosos, y por lo general, mostrando que habían aprendido mucho.

Como segundo impacto, se ha detectado que, a algunos alumnos les ha servido para corregir errores de concepto que tenían. Por ejemplo, algunos habían planteado ideas que no cumplían con los principios de la termodinámica, y les ha servido para comprenderlos.

Un tercer impacto es que los alumnos entienden mejor, después del ejercicio, los conceptos que se han explicado en los temas teóricos de la asignatura. Al aplicarlos o al ver en una presentación de otros grupos como otros los aplican, los entienden mucho mejor.

Más del 90% de los ejercicios entregados separan adecuadamente las fases Concebir – Diseñar – Implementar – Operar. Aunque las últimas fases no se desarrollan del todo en tres de los veinte proyectos presentados, analizando el motivo, se concluye que suele ser porque no se construye un prototipo operativo. No se debe olvidar que los alumnos hacen este ejercicio sin ningún tipo de apoyo económico, y no se les pide que consuman ningún recurso propio. Con estas limitaciones es complicado implementar y operar prototipos, aunque algunos han desarrollado algunos muy interesantes, incluso con material de deshecho reciclado.

Después de la presentación del ejercicio en clase, los alumnos muestran que se sienten cómodos con la libertad que tuvieron inicialmente a la hora de escoger el tema y desarrollarlo, y que, tras los dos meses que han tenido para resolverlo aproximadamente, se consideran ellos mismos más capaces de contribuir propuestas y soluciones en la vida moderna, considerándose más creativos, y, según sus propias palabras, “más inventores”.

Finalmente se observa que algunos trabajos son programas informáticos realizados por los alumnos o desarrollos en uso educativo de algún programa existente; se debe estudiar si es debido al hecho de que realizan el ejercicio sin apoyo económico de ningún tipo (ya que programar tiene un coste económico bajo). También se añade que, en investigaciones posteriores se debe ahondar en cómo afecta esta falta de apoyo económico a los ejercicios presentados.

5. CONCLUSIONES

El desarrollo, en la Evaluación continua, de proyectos CDIO, ha demostrado que el aprendizaje de los alumnos aumenta considerablemente. Se aprecia que, en gran parte, esto se debe al interés que estos ejercicios académicos de desarrollo de proyectos reales despiertan en los estudiantes.

En los ejemplos presentados de los proyectos CDIO se ha conseguido desarrollar un camino entre el proyecto educativo y el proyecto estándar del mundo de la ingeniería.

En este ámbito parece adecuado que la filosofía CDIO se aplique en varias asignaturas dentro de la formación del alumno, acercándole paulatinamente al mundo ingenieril real de la empresa.

Así y todo, los resultados invitan a concluir que la metodología CDIO no debería aplicarse solamente en las materias en las cuales los profesores se involucran, sino, en general, asociarla a los estudios de grado y postgrado. Las investigaciones posteriores deberían ahondar en esta posibilidad.

AGRADECIMIENTOS

A los miembros del Grupo de Innovación Educativa “Innovatio Educativa Tertio Millennio”, que hacen posibles estas investigaciones.

A nuestros alumnos, sin los que nosotros no mejoraríamos.

A la Universidad Politécnica de Madrid por apoyarnos, y facilitarnos los medios necesarios para estas investigaciones.

REFERENCIAS

Conceive Design Implement Operate home page.
<http://www.CDIO.org>

Manna, S. Ghazal Sheikholeslami, G. and Nortcliffe, A. (2020) Developing engineering growth mindset through CDIO outreach activities.

Petersen, C. and Nassaji, H. (2016). Project-Based Learning through the Eyes of Teachers and Students in Adult ESL Classrooms. *Canadian Modern Language Review*, 72(1), pp.13-39.

Savery, J. (2006). Overview of Problem-based Learning: and Distinctions. *Interdisciplinary Journal of Problem-Based Learning*, 1(1).

McDonald, M. and Spence, K. (2016). Experiential Learning: Impacting Student Lateral and Vertical Development. *Sport Management Education Journal*, 10(2), pp.140-147.

Ye, W. and Lu, W. (2011). Case Study on CDIO-Based Engineering Education Mode through CollegeIndustry Linkages. *Advanced Materials Research*, 217-218, pp.819-823.

Konak, A., Clark, T. and Nasereddin, M. (2014). Using Kolb's Experiential Learning Cycle to improve student learning in virtual computer laboratories. *Computers and Education*, 72, pp.11-22.

Yew Fei Tang and Wilson, H. (2020) Investigating repeatable nudge effects with spaced repetition in use MCQs

Lavecchia, A. M., Lui, H. and Oreopoulos, P. (2016). Behavioral Economics of Education: Progress and Possibilities. In: E. A. Hanushek, S. Machin & L. Woessmann, eds. *Handbook of the Economics of Education Vol. 5*. Elsevier, (pp. 1-74).

Herrera Herbert, J. and Ramirez Masferrer, J.A. “Implementation of Conceive – Design – Implement – Operate in Mining Engineering Education Programs”. *Proceedings of INTED 2019 Conference, Valencia, Spain, (March 2019) ISBN: 978-84-09-08619-1*.

EIT Raw Materials. Developing Raw Materials into a major strength for Europe. Accessed 28 December 2018. Retrieved from [https:// eit.europa.eu/eit-community/eit-raw-materials](https://eit.europa.eu/eit-community/eit-raw-materials)

Clausen, E., Edelbro, C., Herrera Herbert, J., Edström K. and Jonsson, K. “Implementation of CDIO in Mining Engineering Education”, 28th SOMP Annual Meeting and Conference, 2017. ISBN: 978-88-6378-004-8

https://www.elmundo.es/campus/2002/03/07/ultima/CAM220732_1.html