

Aprendizaje de Máquinas Eléctricas mediante Trabajos Multidisciplinares Colaborativos.

Learning of Electrical Machines through Collaborative Multidisciplinary Works.

Carloa A. Platero ¹, Francisco Blázquez¹
carlosantonio.platero@upm.es, francisco.blazquez@upm.es

¹Dpto. Automática, Ingeniería Electrónica e Informática Industrial
Universidad Politécnica de Madrid. ETSII.
Madrid, España

Resumen- Las máquinas eléctricas son equipos complejos y fundamentales en nuestra vida actual. En los cursos convencionales de máquinas eléctricas se trata su funcionamiento desde el punto de vista eléctrico sin embargo la realidad es mucho más compleja. Para introducir esta realidad a los alumnos de la especialidad eléctrica del grado de ingeniería en tecnologías industriales se proponen realizar trabajos sobre los distintas partes de una máquina concreta, de la que se dispone de documentación suficiente. En estos trabajos se realizan unos 10 equipos en la clase y cada uno de ellos tiene que abordar un tema que normalmente no se estudia o no se estudia con mucha profundidad en el curso. Para ello tienen que buscar información adicional, utilizar documentación real de la máquina o utilizar normas. Al final se debe entregar un informe y realizar una presentación para toda la clase. Todos los alumnos han trabajado sobre una máquina en concreto, pero en diferentes facetas de esta. Se finaliza cada presentación con preguntas entre los alumnos de los distintos equipos. Cada año se cambia el tipo de máquina. Los alumnos obtienen buenos resultados en el trabajo que se utiliza como parte de la evaluación continua.

Palabras clave: *Máquinas eléctricas, Autoaprendizaje, Aprendizaje colaborativo, Aprendizaje a lo largo de la vida.*

Abstract- Electrical machines are complex and fundamental equipment in our current life. In the conventional courses of electrical machines its operation is treated from the electrical point of view, however the reality is much more complex. To introduce this to the students of the electrical specialty of the engineering degree in industrial technologies, they are proposed to carry out an academic work on the different parts of a specific electrical machine, of which sufficient information is available. In this activity, the class is split in about 10 teams. Each one of them must address a topic that is not normally studied or is not studied in great depth in the course. To accomplish the academic work, the students have to find additional information, use actual machine documentation or use standards. At the end, a report must be prepared, and a presentation made for the rest of the class. All the students have worked on a specific machine, but in different facets of it. Each presentation ends with questions among the students of the different teams. Every year the type of machine is changed. The students obtain good marks on this work, which is used as part of continuous assessment.

Keywords: *Electrical Machines, Self-learning, Collaborative learning, Lifelong learning.*

1. INTRODUCCIÓN

Los planes de estudios en ingeniería están supervisados por organismos nacionales como ANECA (Agencia Nacional de Evaluación de la Calidad y Acreditación) o internacionales, tales como ABET (Accreditation Board for Engineering & Technology) o EUR-ACE© ENAEE (European Network for Accreditation of Engineering Education) que verifican que los estudiantes adquieren las competencias necesarias.

Dentro de estas competencias destacamos algunas que se han incorporado en último lugar y no estaban en los viejos planes de estudios como son:

- Comunicación oral.
- Trabajo en equipo
- Seguir aprendiendo

Dentro de la innovación educativa se han desarrollado numerosas técnicas que ayudan a los alumnos a adquirir esas competencias. Dentro de la larga lista, destacamos algunas de ellas en:

- Clase invertida (Sánchez-Canales et al., 2019)
- Aprendizaje colaborativo (Centrado, 2011)
- Autoaprendizaje (Blázquez & Platero, 2019)
- Aprendizaje basado en investigación (Sein et al., 2014)
- Aprendizaje basado en retos (Manrique & Sanmartín, 2019)
- Trabajos colaborativos multidisciplinares (Navarro Soria et al., 2015) (Reverte et al., 2007)

En este trabajo se presenta la experiencia sobre trabajos colaborativos multidisciplinares, que estarían integrados en la última de las técnicas expuestas anteriormente.

Esta actividad consiste en trabajos en grupos donde cada uno de estos tratan un aspecto de una máquina. Más concretamente se trata de una máquina eléctrica. Son aspectos de las máquinas que no se tratan en un curso convencional. De forma que todos los alumnos de clase trabajan sobre distintos aspectos de la misma máquina. Por último, deben realizar una presentación del

tema al resto de los alumnos, para concluir con rondas de preguntas al finalizar cada presentación por parte de los alumnos y de los profesores de la asignatura.

La estructura y la filosofía de estos trabajos colaborativos multidisciplinares presentados pueden ser de aplicación a otras asignaturas, fundamentalmente de materias técnicas, donde se estudien equipos o sistemas industriales. Esta actividad pretende servir de puente entre la teoría universitaria y la realidad industrial.

El resto del artículo está organizado de la siguiente manera. La sección 2 presenta el contexto de la actividad, en que curso se ubica, cuál es su alumnado y los objetivos de la misma. Posteriormente en la sección 3 se describe la actividad propuesta. En la sección 4 se detalla el método de evaluación empleado, así como los resultados obtenidos. Finalmente, en la sección 5 se resumen las aportaciones más importantes del artículo.

2. CONTEXTO

Las máquinas eléctricas son piezas clave dentro de la red eléctrica y tienen gran importancia, no sólo en los sistemas eléctricos sino también en el transporte o en cualquier rama de la industria.

Dentro del Grado en Ingeniería en Tecnologías Industriales (GITI), el estudio de las máquinas eléctricas se divide en varias asignaturas, la primera de ellas denominada “Máquinas Eléctricas”, está ubicada en 2º curso de GITI. Esta es una asignatura troncal para todos los alumnos de la Escuela. En ella se estudian transformadores y máquinas de inducción, que son las máquinas más utilizadas en la industria. Esta asignatura tiene un gran número de alumnos y sólo una parte del alumnado demuestra gran interés por la misma.

La segunda asignatura ya es sólo para alumnos de la especialidad eléctrica y está ubicada en 3º curso de Grado de Ingeniería en Tecnologías Industriales. Se llama Máquinas Eléctricas II, y en ella se estudian más en profundidad los transformadores y las máquinas asíncronas, ya estudiadas previamente, además de otras máquinas principalmente máquinas síncronas y máquinas de corriente continua. Además, se estudian máquinas de imanes permanentes, máquinas de reluctancia y máquinas brushless DC.

El número de alumnos de la especialidad eléctrica es reducido, entre 30 y 40 según el curso académico. Son alumnos con gran interés en las asignaturas propias de la especialidad, entre las que está la asignatura Máquinas Eléctricas II.

Es para estos últimos alumnos para los que proponen los trabajos multidisciplinares colaborativos.

A. Objetivos

Los objetivos de estos trabajos son varios:

- Estudiar aspectos de las máquinas eléctricas no incluidos en un curso universitario.

Normalmente en un curso de máquinas eléctricas se estudia el funcionamiento de estas desde el punto de vista eléctrico. Con esta actividad se pretende concienciar a los alumnos que las máquinas eléctricas y en general cualquier equipo industrial

tiene más facetas que las que se estudian en nuestras asignaturas.

- Búsqueda de información.

Para realizar este trabajo los alumnos deben buscar información adicional a la facilitada por los profesores de la asignatura. Para ello deben de utilizar fundamentalmente internet y la biblioteca digital de la universidad, donde se pueden encontrar manuales, catálogos de los equipos y normas.

- Trabajar con documentación real de máquinas eléctricas.

Se facilita a los alumnos documentación real de máquinas eléctricas tales como especificaciones técnicas, manual de instrucciones, planos constructivos, protocolos de ensayos, etc. Habitualmente es la primera vez que los alumnos tienen que utilizar este tipo de documentación, que tiene ciertas diferencias con la documentación académica utilizadas hasta ahora.

- Trabajar con normativa.

En algunos temas propuestos los alumnos tienen que consultar normas sobre fabricación y ensayo de máquinas eléctricas. Es también la primera vez que utilizan este tipo de documentos; pensamos que es importante conocer y utilizar la normativa, ya que en su futura vida profesional será una práctica habitual. En este caso la normativa se puede consultar en la biblioteca digital de la universidad.

- Trabajar en equipo.

Se distribuyen los alumnos en grupos de entre tres y cinco componentes por lo que deben de trabajar en equipo. Deben repartirse las tareas asignadas y colaborar para la realización del informe y la preparación de la presentación.

- Realizar una presentación del trabajo realizado.

Al final del curso se dedicará una sesión para la presentación de los trabajos al resto de los alumnos. Cada uno de los miembros de grupo tendrán cinco minutos para realizar la presentación de su parte.

- Fomentar la participación activa en rondas de preguntas

Después de cada presentación se establece una ronda de preguntas, generalmente abierta por el profesor, incidiendo en los aspectos más representativos de los trabajos. Se buscan dos cosas; en primer lugar, que cualquier miembro de un equipo sea capaz de dar respuesta a las cuestiones planteadas, independientemente de que haya sido él el encargado de presentar ese aspecto concreto; en segundo lugar, que el resto de los alumnos participe activamente preguntado a los compañeros que han realizado el trabajo. Pensamos que es muy enriquecedor que los alumnos sean público de las presentaciones de los otros equipos, ya que se trata de la misma máquina que ellos tienen que hacer el trabajo pero de diferente materia.

3. DESCRIPCIÓN

El trabajo se va a realizar sobre una máquina eléctrica que le será asignada a toda la clase. El tipo de máquina se cambiará cada año entre Transformador, Máquina Asíncrona o Máquina Síncrona. De forma que cada tres años se repite el tipo de máquina, según la Tabla 1

Tabla 1 Tipos de máquina eléctricas asignadas

Año 1	Transformador
Año 2	Motor asíncrono
Año 3	Generador síncrono

La clase se divide en equipos de tres, cuatro o cinco alumnos, formando aproximadamente diez equipos. Esto depende del número de alumnos que haya ese curso en concreto. De forma que se puedan asignar el máximo número de trabajos con el menor número de alumnos posibles.

Los profesores de la asignatura disponen de la toda la documentación necesaria de la máquina de la cual se va a realizar los trabajos. Esta documentación será entregada a los alumnos según el tema asignado.

Se selecciona una máquina en concreto de la que se disponga numerosa documentación tal como:

- Especificaciones
- Hojas de datos.
- Protocolos de ensayos.
- Planos constructivos.
- Manual de instrucciones
- Manual de operación y mantenimiento
- Esquemas eléctricos
- Lista de instrumentos
- Documentación del sistema de protecciones
- Fotos de la fabricación

Todos los equipos de clase realizarán un trabajo sobre esa máquina concreta, para lo cual tendrán acceso a la documentación disponible.

Los trabajos están relacionados con temas que bien no se estudian o bien no se estudian con mucha profundidad en un curso clásico de máquinas eléctricas. Estos temas dependen del tipo de máquina, pero hay varios temas comunes y temas específicos, como se muestra en la Tabla 2. En la Figura 1 se muestran los temas específicos de transformadores

Antes de la realización de los trabajos cada uno de los equipos mantiene una reunión con los profesores de la asignatura para explicar los objetivos del trabajo, así como para explicar brevemente la teoría o al menos una breve introducción sobre el tema asignado, de forma que los alumnos puedan trabajar en este tema.

Adicionalmente se entrega un guion del trabajo con los objetivos generales y específicos del trabajo.

Los objetivos generales van relacionados con el estudio del tema asignado sin particularizar para ninguna máquina. La parte específica se debe particularizar para la máquina asignada. Por ejemplo, en el caso de los ensayos de las máquinas se tratan ensayos no explicados en la asignatura. En la parte general se trata de describir cómo se realizan esos ensayos. En la parte específica se trata de analizar los ensayos del protocolo de la

máquina asignada. En este apartado se hace hincapié en la de las pérdidas, así como la influencia de estas en los costes de operación.

Tabla 2 Temas propuestos para los trabajos

Temas Comunes	
01	Características de instalación
02	Formas constructivas
03	Refrigeración
04	Instrumentación
05	Sistemas de protección
06	Mantenimiento
07	Ensayos
Temas específicos de Transformadores	
T1	Análisis de gases disueltos
T2	Tipos y aplicaciones
T3	Cambiador de tomas
T4	Aislamiento
T5	Datos de compra
Temas específicos de Motores Asíncronos	
A1	Tipos de arranques
A2	Tiempo de arranque
A3	Tipo de devanados
A4	Utilización variador de velocidad
Temas específicos de Generadores Síncronos	
S1	Sistemas de excitación y reguladores de tensión
S2	Regulador de velocidad y tipos de máquinas motrices
S3	Capacidad en función de la temperatura

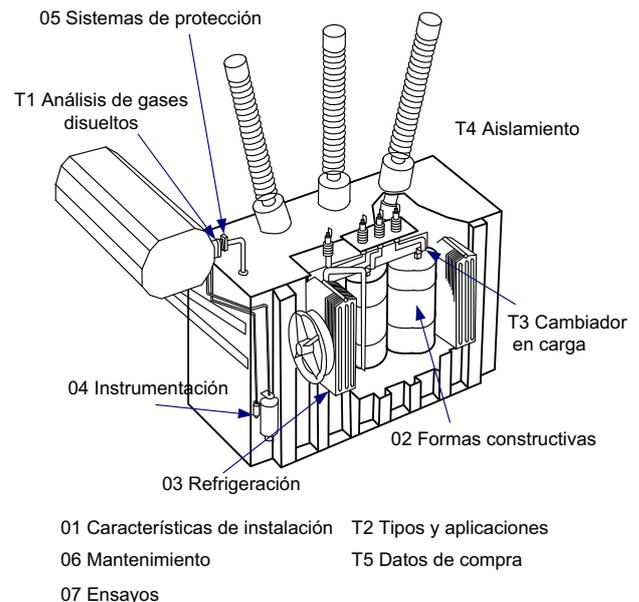


Figura 1: Temas de los trabajos de transformadores.



Figura 2: Entrega en Moodle de los informes y las presentaciones de los trabajos sobre motores asíncronos.

A partir de aquí, los alumnos comienzan su trabajo de forma autónoma, repartiéndose el trabajo y asumiendo el rol que les haya correspondido.

Como resultado final elaborarán un informe del trabajo realizado y una presentación de este, que se entregarán en formato electrónico (Fig. 2). Por último, se realizarán las presentaciones en sesiones conjuntas con todos los alumnos.

4. RESULTADOS

Para evaluar las competencias que los alumnos adquieren con la realización de los trabajos, se utilizan dos rúbricas, una para la presentación y otra para el informe.

Criterios para evaluar los trabajos de Máquinas Eléctricas				
Nivel de Calidad				
Criterio	Muy Bien (3 puntos)	Bien (2 puntos)	Regular (1 punto)	Mal (0 puntos)
INFORME				
Contenidos	Busca bibliografía diversa	Sólo contenidos de clase	Faltan algunos contenidos	El contenido no es suficiente
Presentación de los gráficos	Todos los gráficos utilizados ayudan a entender la explicación. No hay ninguno que sobre ni se echa ninguno en falta	En algún punto del documento se echa en falta algún gráfico que ayude a aclarar un concepto	La forma de utilizar los gráficos no ayuda en nada a aclarar los conceptos.	No utiliza gráficos
Claridad del informe	Los contenidos son muy claros y las frases se entienden a la primera.	En alguna ocasión las frases son largas y confusas, y hay que leerlas varias veces para entenderlas.	El texto presenta muchos errores gramaticales	El texto es difícil de entender. Las frases son largas y confusas.

Figura 3: Rúbrica para la calificación de los informes.

Según se observa en la Figura 3, los criterios de calificación no hacen referencia a aspectos del trabajo individual del alumno ya que se entrega un único informe por cada grupo. Así pues, en este apartado el grupo obtiene una calificación conjunta que oscila entre 0 y 9 puntos.

Con respecto a la calificación de la presentación, presentada en la figura 4, los dos primeros criterios (6 puntos) son relativos a aspectos formales de la presentación, pero el último (3 puntos) es relativo a la actuación del ponente en concreto.

Finalmente se completa la calificación con 2 puntos, otorgados a juicio del profesor, en función de la participación del alumno en los turnos de preguntas que se establecen tras la presentación del resto de temas por parte de sus compañeros.

Criterios para evaluar los trabajos de Máquinas Eléctricas				
Nivel de Calidad				
Criterio	Muy Bien (3 puntos)	Bien (2 puntos)	Regular (1 punto)	Mal (0 puntos)
PRESENTACIÓN				
Contenidos presentados	La presentación contiene una selección de los contenidos más importantes y se ajusta perfectamente al tiempo disponible	En presentación se echa en falta algunos contenidos fundamentales, pero se ajusta perfectamente al tiempo disponible	En presentación se echa en falta algunos contenidos fundamentales y además no se ajusta al tiempo disponible	Los contenidos presentados no son suficientes
Calidad de la presentación	La forma de utilizar los recursos hace que la presentación sea amena. El tamaño y los colores del texto y los gráficos facilitan una correcta visualización.	El tamaño y los colores del texto y los gráficos facilitan una correcta visualización, pero en algún momento la presentación se hace pesada.	Hay que hacer un gran esfuerzo para seguir la presentación, porque es poco amena y porque los tamaños y colores utilizados no son los más apropiados.	Es imposible seguir la presentación
Facilidad de Expresión	El ponente se expresa con facilidad, explica con soltura los contenidos de la presentación y responde correctamente las preguntas planteadas	El ponente se expresa con facilidad, pero no explica con suficiente soltura los contenidos de la presentación o no responde con precisión	El ponente se expresa con dificultad, pero parece dominar los contenidos de la presentación	El ponente se expresa con dificultad, le falta soltura al explicar los contenidos de la presentación y no responde con precisión

Figura 4: Rúbrica para la calificación de las presentaciones.

Así, de los 20 puntos que se pueden obtener con esta actividad, 15 se otorgan en conjunto a todos los miembros del equipo y 5 a la actuación individual de cada uno de los miembros. Consideramos adecuado que el 75% de la calificación sea común, ya que se trata de una actividad que fundamentalmente se trabaja en grupo.

A modo de ejemplo, en la Figura 5 se presenta la distribución de calificaciones de los alumnos en el curso 20/21.

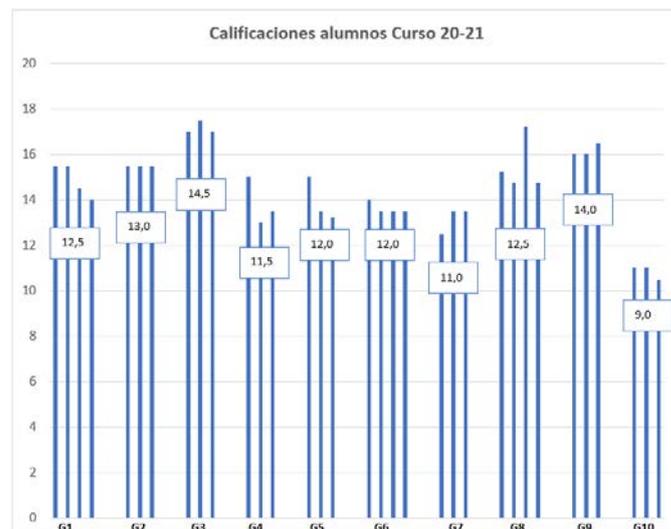


Figura 5: Distribución de calificaciones de los alumnos en el curso 20/21

En esta gráfica cada grupo de barras representa un grupo (Gi) y cada barra la calificación total de cada alumno, sumando la individual y la de cada grupo, representada en una caja. Se observa que ni todos los grupos obtienen la misma calificación ni por supuesto cada alumno tampoco, lo que manifiesta la bondad de las rúbricas utilizadas, que permiten discriminar entre los diferentes grupos y alumnos.

Existen también ligeras diferencias entre las calificaciones obtenidas en cursos sucesivos. En la Figura 6 se presenta la evolución de las calificaciones medias de la parte común y la parte individual de los trabajos.

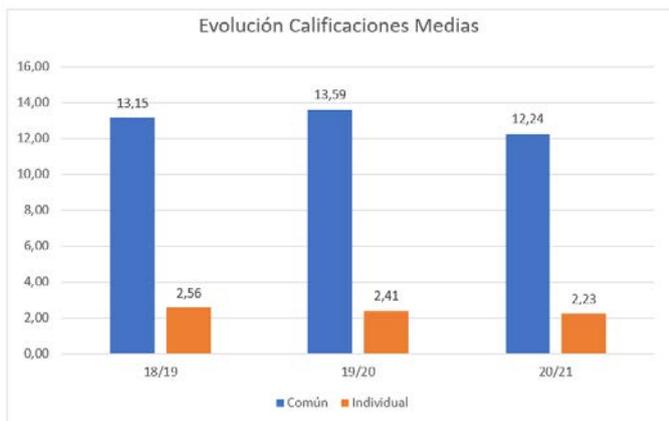


Figura 6: Evolución de las calificaciones medias.

Se observa que las calificaciones medias son elevadas, si bien en el último curso han bajado, sobre todo la parte común a todos los alumnos de cada grupo. Posiblemente se deba al hecho de que este curso, por las restricciones sanitarias debidas al COVID 19, los alumnos solo han tenido un 25% de clases presenciales y además han tenido limitada la posibilidad de reuniones presenciales, que han solventado por video conferencia. En cualquier caso, habrá que ver la evolución en cursos posteriores para poder extraer conclusiones válidas.

Finalmente, en la Figura 7 se presenta la relación existente entre el número de alumnos que participan en esta actividad y los que logran aprobar en primera convocatoria (ordinaria de junio).

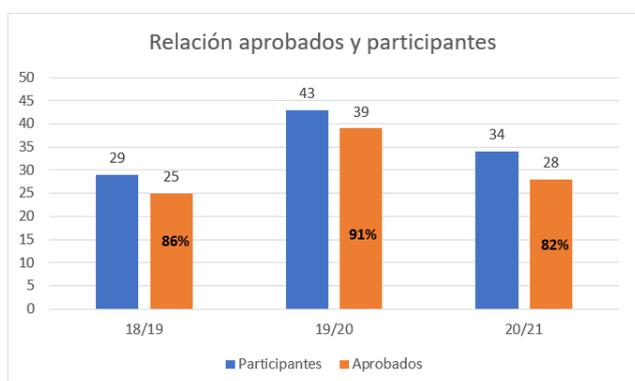


Figura 7: Participantes frente a aprobados en la convocatoria de junio.

Se observa que un gran número de alumnos que participan en esta actividad logran aprobar la asignatura en su primer intento. El porcentaje de los que lo superan está siempre por encima del 82%, llegando en el curso pasado a superar el 90%.

5. CONCLUSIONES

A la vista de los resultados podemos concluir que con los trabajos multidisciplinares propuestos se obtienen resultados satisfactorios.

En primer lugar, los alumnos estudian aspectos de las máquinas eléctricas desconocidos por ellos, con una

metodología de trabajo en grupo colaborativo, que fomenta habilidades como la iniciativa, el reparto de tareas, el trabajo autónomo y la expresión en público.

Respecto al aprendizaje hay que destacar que los diferentes grupos adquieren un conocimiento básico sobre la materia que les ha sido asignada y unas ideas generales sobre el resto de las materias asignadas al resto de grupos.

La utilización de rubricas en el método de evaluación es capaz de discriminar tanto los mejores trabajos como los mejores alumnos.

Los resultados obtenidos en términos de la calidad, y por tanto de calificación de los trabajos, son muy buenos y mantenidos en los últimos cursos.

Finalmente, se ha mostrado que la realización de los trabajos parece incidir positivamente en la consecución del aprobado en la asignatura, así como fomenta el interés de los alumnos por las máquinas eléctricas.

REFERENCIAS

- Blázquez, F., & Platero, C. A. (2019). *Autoaprendizaje en materia de Máquinas Eléctricas*. 486–491. <https://doi.org/10.26754/cinaic.2019.0099>
- Centrado, D. D. (2011). *Innovación Docente aplicando Aprendizaje Colaborativo basado en Proyectos*. Cinaic, 447–450.
- Manrique, J., & Sanmartín, V. (2019). *Proyecto de aprendizaje basado en retos aplicado a los estudiantes del 2do ciclo académico de Ingeniería en Geología*. 50–55. <https://doi.org/10.26754/cinaic.2019.0011>
- Sánchez-Canales, M., García-Aranda, C., Morillo-Balsera, M. C., Miguel S-de-la-Muela, A., & Fernández-Gutiérrez del Alamo, L. (2019). *Clasificación de loMolina Jordaa, J. M., Silvestre Alberoa, J., & Montilla, F. (2011). Nuevo Modelo De Aprendizaje Colaborativo Multidisciplinar Para Estudios De Master*. <http://web.ua.es/es/ice/jornadas-redes/documentos/2011/posters/185196.pdf>
- Navarro Soria, I., González Gómez, C., López Monsalve, B., & Botella Pérez, P. (2015). Aprendizaje de contenidos académicos y desarrollo de competencias profesionales a través de prácticas pedagógicas multidisciplinares y trabajo cooperativo. *Revista de Investigación Educativa*, 33(1), 99. <https://doi.org/10.6018/rie.33.1.183971>
- Reverte, J. R., Gallego, A. J., Molina, R., & Satorre, R. (2007). *Estudio de los Costes de la Implantación de un Proyecto Multidisciplinar de Aprendizaje Colaborativo*. November, 349–350.
- Sein, M., Fidalgo, Á., & García, F. (2014). Presentación Buenas prácticas de Innovación Educativa: Artículos seleccionados del II Congreso Internacional sobre Aprendizaje, Innovación y Competitividad, CINAIC 2013 Best Practices in Educational Innovation: Selected papers of the II International Conf. *Revista de Educación a Distancia*. Número, 44. <http://www.um.es/ead/red/44>