

Metodologías activas: simulación de un proceso de centrifugado en Diseño de Experimentos en Ingeniería

V. Chirivella, R.M. Alcover, B. Richart

Departamento de Estadística e Investigación Operativa Aplicadas y Calidad

Universitat Politècnica de València

{vchirive, ralcover, brichart}@eio.upv.es

Abstract

In this paper we present a proposal of an active methodology for learning the subject Design of Experiments (DOE) on the university master's degree in Data Analysis Engineering, Process Improvement and Decision Making offered by the Polytechnic University of Valencia (UPV). The proposal, among other issues, includes the formation of work teams, the planning and realization of real experiments, its analysis and the presentation of its results. The objective of this methodology, besides stimulating the participation and motivation of the student, is to bring the classroom work closer to the real practice of the DOE in an industrial context, covering the greatest possible number of competences, increasing and improving the learning of the students.

Keywords: *Design of Experiments; Laboratory; Educational innovation; Active methodologies; Classroom dynamization; Soft skills*

Resumen

En este trabajo se presenta una propuesta de metodología activa de aprendizaje de las asignaturas de Diseño de Experimentos (DOE) del máster universitario de Ingeniería de Análisis de Datos, Mejora de Procesos y Toma de Decisiones ofertado por la Universitat Politècnica de València (UPV). La propuesta, entre otras cuestiones, incluye la formación de equipos de trabajo, la planificación y realización por parte de los alumnos de experimentos reales, el análisis y la presentación de resultados. El objetivo de la metodología, además de estimular la participación y motivación del alumno, es aproximar el trabajo de aula a la práctica real del DOE en un contexto industrial, cubriendo el mayor número posible de competencias, incrementando y mejorando el aprendizaje de los estudiantes.

Palabras clave: *Diseño de Experimentos; Laboratorio; Innovación educativa; Metodologías activas; Dinamización de aula; Competencias*

1. Introducción

Numerosos son los trabajos que han resaltado el papel que las técnicas de Diseño de Experimentos (DOE) pueden desempeñar en la obtención de elevadas cotas de calidad y productividad, tanto en los productos como en los procesos productivos. Como se afirma en Romero y Zúñica (2004), una de las aportaciones esenciales de los planteamientos sobre Calidad Total ha sido la de enfatizar la importancia de las actividades que se desarrollan en

las fases de diseño de productos y procesos. El objetivo básico de estas actividades es precisamente identificar y cuantificar los efectos que los parámetros de los productos y los procesos tienen sobre las características de calidad y productividad relevantes. Todo ello con el fin de obtener las condiciones operativas óptimas, identificar las causas de los problemas y seleccionar la mejor alternativa para resolverlos. Por estos motivos la materia de DOE tiene una especial relevancia en el ámbito de la Ingeniería y en la investigación, en general. La sociedad demanda cada día con mayor fuerza profesionales en el análisis y tratamiento de datos con el fin de conseguir una mayor información que guíe sus procesos de toma de decisiones.

Anticipándose a esta situación la UPV puso en marcha durante el curso 2009/2010 el máster universitario en Ingeniería de Análisis de datos, Mejora de procesos y Toma de decisiones, máster en el que se incluyen dos asignaturas de la materia DOE. Con esta materia, en el máster, se parte de conocimientos básicos y elementales, llegando a abordarse aspectos de elevado nivel complejidad. La materia de DOE se ubica en el módulo de Mejora de Procesos de dicho máster, y está organizada en dos asignaturas, DOE I y DOE Avanzado, de 3 créditos ECTS cada una de ellas.

Desde la puesta en marcha de la materia en el master hasta la actualidad (curso 2017/2018) los contenidos teóricos han variado mínimamente. El cambio más importante se ha llevado a cabo en los objetivos perseguidos en la materia, en la metodología docente utilizada y en el sistema de evaluación adoptado (Fernández, 2006). Todo ello ha repercutido en mejores resultados del alumnado, en un mayor rendimiento de la materia y en una mayor satisfacción tanto del alumnado como del profesorado implicado (González, 2013).

Durante las seis ediciones del máster la materia de DOE se ha ido reconduciendo con el fin de conseguir un mejor cumplimiento de las competencias requeridas tanto por el propio máster como por la UPV. Para ello, en primer lugar se ha reducido el tiempo dedicado a la exposición teórica del profesor, estrategia necesaria pero que difícilmente por sí sola fomenta el aprendizaje autónomo del alumnado, GIMA (2008). Además, siguiendo a diferentes autores (Peiró-Signes y Segarra-Oña, 2015), se han introducido nuevas actividades de dinamización del aula que garantizan el trabajo de las competencias específicas y transversales (Proyecto institucional de las competencias transversales UPV). Por su especial relevancia, el cambio más profundo en la materia, tanto en organización, metodología y evaluación, está relacionado con la adquisición de las competencias por los estudiantes.

Por otra parte, la introducción en el aula de nuevas actividades que motiven y promuevan la participación activa del alumnado es, hoy en día, un reto continuo para el profesorado. Además estas actividades suelen variar su nivel de complejidad según el tipo de alumnado al que vayan dirigidas. En la experiencia que presentamos en este trabajo, al tratarse de una materia de máster, la preparación de la actividad ha requerido un considerable número de horas de trabajo por parte del profesorado y del técnico de laboratorio implicado (Villa y Poblete, 2007).

Tras analizar los resultados obtenidos por los alumnos matriculados en la materia desde el curso 2009/2010, se constata que, tras la modificación de la metodología docente y la realización de la nueva actividad en las asignaturas, los resultados son significativamente mejores, además de trabajar nuevas competencias que previamente se habían pasado por alto. Se consigue un incremento y mejora del aprendizaje. Así los alumnos pueden llegar a ser mejores profesionales en su campo.

2. Objetivos

Teniendo en cuenta que el temario de las asignaturas que engloban la materia de DOE no se ha reducido, ni se ha aumentado su número de créditos, los cambios introducidos en la materia de DOE se han planteado con los siguientes objetivos:

- Seleccionar el material adecuado para llevar a cabo en el aula un experimento in situ simulando un proceso genérico en el ámbito de la ingeniería.
- Elaborar una guía detallada para el alumno que le permita, en un tiempo razonable, simular el proceso estudiado utilizando únicamente el material disponible.
- Motivar e involucrar de lleno al alumno en un proceso real de su área de interés, pasando por todas las etapas de su ciclo de vida, hasta la presentación y discusión de resultados.
- Trabajar en un equipo multidisciplinar.
- Dinamizar el aula en sesiones de cinco horas y media creando un buen ambiente de trabajo.
- Mejorar el aprendizaje y rendimiento de los estudiantes.

3. Desarrollo de la innovación

Con los objetivos planteados en el apartado anterior y desde las asignaturas implicadas, hemos propuesto actividades centradas en el diseño y realización de experimentos que se puedan implementar fácilmente en el aula informática, tanto en tiempo como en recursos necesarios. A su vez, y al tratarse de una materia impartida en máster, estos experimentos deben ser lo suficientemente elaborados para cubrir el desarrollo y posterior evaluación de un gran número de competencias transversales en los alumnos. Entre todos ellos, hemos hecho una selección, teniendo en cuenta los criterios anteriores:

- El análisis de las principales estrategias posibles para el llenado de bolsas con básculas multicabezal, un proceso importante en la determinación del peso de los paquetes de panes tostados, galletitas, pasta,... regulado por el REAL DECRETO 1801/2008.
- El diseño y optimización del tiempo de vuelo de una semilla de arce, un diseño alternativo y barato de drones pasivos encargados de filmación de imágenes, cartografía, emergencias, logística, seguridad,...
- El diseño y optimización de una catapulta Trebuchet, el tipo de la catapulta medieval que ofrece mayor precisión y exactitud en su funcionamiento.
- El análisis del subproceso de centrifugado para la separación de un sólido en suspensión líquida mediante un centrifugador, indispensable en la fabricación de medicamentos.

De los cuatro experimentos propuestos, escogemos el experimento de la centrifugadora por ser una experiencia muy visual, didáctica y con múltiples soluciones. Esto permite a los estudiantes, además de las competencias generales y específicas de la asignatura, trabajar la competencia transversal de innovación, creatividad y emprendimiento, proporcionando diseños y ensamblados novedosos de un proceso.

El experimento de la centrifugadora

Pretendemos analizar el subproceso de separación de un sólido en suspensión líquida mediante un centrifugador, una parte esencial en el proceso de producción de un medicamento. Dicho subproceso debe tener una cierta duración para que se produzca la separación efectiva del sólido, pero no debe prolongarse en el tiempo para no afectar a otras características de la mezcla, por lo que el tiempo de centrifugado es una variable de interés en la producción del medicamento. El análisis del subproceso se realizará por medio de un simulador, que los alumnos deben construir, en el que el tiempo de centrifugado vendrá dado por el tiempo de giro de una bola dentro de un embudo, al que llegará a cierta velocidad al descender por una rampa hasta el mismo.

Uno de los objetivos de este trabajo es conocer la relación que existe entre una variable respuesta, el tiempo de giro en el embudo, y los factores de diseño considerados para la misma, con el fin de poder fijar sus valores y alcanzar un cierto objetivo, un valor determinado del tiempo de giro (centrifugado).

Los principales factores de diseño para este experimento son la distancia recorrida por la bola en la rampa (100 cm máximo), el material con el que está hecha la misma (plástico, madera o acero) y su ángulo de inclinación (que depende del montaje). Por otro lado tenemos el tamaño de bola (2, 4, 6, 8, 10 y 12 mm), el tipo de embudo (paredes rectas o paredes curvas), y finalmente se propone el estudio de un factor adicional, el sentido de giro de la bola en el embudo, que tiene un efecto teórico (aceleración de Coriolis) que no puede apreciarse a la escala del experimento. Los alumnos, trabajando en equipo, realizarán un montaje colocando una rampa en dos soportes de forma que tenga una inclinación ajustable, con uno de los extremos que desembocará en un embudo situado en un tercer soporte. Si se deja caer una bola por la rampa, ésta adquirirá velocidad debido a la inclinación y el recorrido en la misma, y al salir de ella embocará un embudo, en el que dará vueltas hasta que su energía no sea suficiente, descienda y termine por salir del mismo. El tiempo que tarda en salir del embudo se contará desde el momento de entrada de la bola en el mismo, o desde que la bola se libera en la rampa, y sería la variable de interés en el experimento. Todos estos factores proporcionan al alumno una multitud de posibilidades de diseño del simulador.

El trabajo a realizar por el alumno se divide en cinco partes. La primera parte sería una toma de contacto con el material para construir el simulador y un primer enfrentamiento a las cuestiones logísticas de su implementación. En la segunda y tercera se realiza el análisis del problema, obteniendo en primer lugar un cierto conocimiento básico sobre el mismo, que llevará en la siguiente parte al planteamiento y ejecución del trabajo con el análisis completo del problema. En la cuarta parte los alumnos escribirán una memoria que

documentaría toda la actividad realizada, y en la quinta prepararán dos presentaciones, una dirigida a sus compañeros de clase, y otra que se expondría a sus jefes en la "empresa". Con cierto detalle:

1. Lo primero que deben hacer los alumnos es observar el material disponible para la simulación, rampas, bolas, soportes, garras, cronómetros, cintas métricas, y unas piezas de madera en forma de "L" que tratan de encajar en el diseño. Escogen aquello que creen conveniente y se lo llevan a su puesto de trabajo para proponer un montaje a partir del material y de la idea de que "una bola debe recorrer una rampa y terminar dando vueltas en un embudo". Como se les pide encontrar seis factores que posiblemente afecten al tiempo de centrifugado en dicho montaje, así como el rango de los niveles o las variantes que le corresponderían a cada factor, emplean algo de tiempo en mover o cambiar ciertas partes de su diseño para tratar de encontrarlos. Analizan los problemas que hay en su montaje, sobre todo en lo que respecta a volver a poner las partes en la misma posición cuando realizan los ajustes en los diferentes niveles o variantes, y prueban los valores extremos de los niveles para ver si surgen problemas. Los miembros del grupo se organizan de una forma elemental para poder lidiar con todos los problemas que aparecen.
2. Transcurrido un tiempo conveniente, se les desvela el montaje de la Figura 1, y la función de la "L" de madera, que ha sido utilizada de forma muy imaginativa. Los equipos comparan los montajes para ver las ventajas e inconvenientes de su propio diseño, y proponen finalmente un montaje definitivo, así como los factores a analizar. En este momento deberían plantear lo que se conoce como un diseño de cribado, que permite determinar con un número mínimo de pruebas cuáles de los seis factores propuestos son los más relevantes para explicar tanto el promedio como la varianza del tiempo de centrifugado, y las interacciones que existen entre ellos. El comienzo en la realización de las pruebas no suele suponer cambios en el montaje, pero sí en la forma de proceder con ellas, y con los roles y tareas de cada miembro del equipo. Finalmente se realiza el análisis de los datos y se obtienen las conclusiones.



Fig. 1 Simulador de centrifugadora

3. Con los resultados preliminares los alumnos son capaces de escoger la centrifugadora (embudo) que tiene el rango más amplio del tiempo de giro y centran en el mismo el siguiente análisis. Ahora deben proponer un nuevo diseño del experimento que permita ensayar los factores más relevantes encontrados, a los niveles y variantes que resulten adecuados, con el menor número de pruebas posible y con objeto de realizar el estudio definitivo del problema de la centrifugadora. Los alumnos planifican y realizan los correspondientes experimentos, y analizan la naturaleza de la relación de los factores seleccionados con el promedio del tiempo de centrifugado. Con estos mismo datos repiten los análisis, pero ahora con la varianza del tiempo de giro. Una vez explicado el proceso, los alumnos pueden ajustar el simulador a voluntad, por lo que determinan los valores de los factores para no sobrepasar los 25,0 segundos de giro con una probabilidad de un 99,99%. Para comprobar que todo está bien, realizan un experimento confirmatorio final en las condiciones propuestas por ellos como óptimas.
4. El análisis está hecho, pero ahora deben documentar en una memoria final escrita todo el proceso de toma de decisión, los experimentos, los hallazgos realizados y las conclusiones obtenidas. El enfoque de este documento es el formal de un trabajo académico o de investigación.
5. Adicionalmente preparan dos exposiciones orales, una de 18 minutos en la que explican el documento final a sus compañeros, haciendo hincapié en los diseños escogidos y en las soluciones a los problemas encontrados durante la experimentación, y una segunda presentación de 8 minutos donde se supone que explicarían a los responsables de la empresa farmacéutica las conclusiones y las acciones propuestas sobre el proceso de fabricación. La presentación que realizará cada equipo será escogida al azar entre las dos existentes, y la exposición terminará con un turno de preguntas con el fin de aclarar las cuestiones necesarias.



Fig. 2 Montajes realizados por los alumnos en una de las ediciones del máster.

Con este trabajo se ejercitan las competencias que los alumnos deben adquirir en el curso (<http://www.upv.es/contenidos/COMPTRAN/>). La primera competencia de todas sería la *CT13 Instrumental específica*, en este caso el uso de las herramientas estadísticas e informáticas necesarias para el ejercicio profesional. Para resolver el problema del centrifugador, los alumnos han seleccionado las herramientas estadísticas más adecuadas: diseño de experimentos, análisis de la varianza, regresión y optimización, integrándolas

adecuadamente para conseguir el objetivo propuesto. Además han utilizado las herramientas informáticas que implementan las técnicas estadísticas mencionadas, y los programas ofimáticos para la elaboración del documento final y de las presentaciones. Por todo ello, con el trabajo de la simulación de la centrifugadora se ha llegado al nivel 3 de dicha competencia transversal. Esta competencia se evalúa mediante la nota obtenida en la memoria del trabajo, reconvirtiéndola en uno de los cuatro niveles posibles.

La competencia transversal *CT01 Comprensión e integración* también debe ser evaluada en la asignatura. Esta competencia se ejercita y evidencia en diversas fases del trabajo de los estudiantes. Así, el diseño del montaje realizado por los alumnos es una evidencia de la comprensión del objetivo y del funcionamiento del simulador; los diseños de experimentos por ellos escogidos son evidencia de haber entendido en cada caso la necesidad de establecer relación entre el tiempo de giro y los factores propuestos, de acuerdo a sus niveles y variantes. Las evidencias de la comprensión e integración aparecen tanto en la redacción de la memoria del trabajo como en sus posteriores exposiciones, donde se establecen relaciones de causa-efecto, se expresan sus ideas y se generan las conclusiones, tal como indica el nivel 3 de dicha competencia. Esta competencia se evalúa mediante la rúbrica que tiene establecida para ello la UPV.

Tabla 1. Rúbrica para la evaluación de la CT01 propuesta por la UPV

Nivel de dominio III					
Resultado de aprendizaje: identificar las carencias de información y utilizar el conocimiento con un enfoque globalizador.					
INDICADORES	DESCRIPTORES				EJEMPLOS DE POSIBLES EVIDENCIAS
	D. No alcanzado	C. En desarrollo	B. Bien /adecuada	A. Excelente/ejemplar	
Identifica lagunas de información o falta de coherencia en las argumentaciones	No es consciente de las lagunas o incoherencias que presentan determinados planteamientos	Identifica solo parte de las lagunas o incoherencias que presentan determinados planteamientos	Detecta incoherencias e identifica la información adicional necesaria para entender determinados planteamientos	Soluciona las incoherencias e incorpora la información adicional necesaria para entender determinados planteamientos	<ul style="list-style-type: none"> Lectura y análisis de textos concretos. Realización de trabajos de búsqueda de información. Propuesta por parte de los alumnos de exámenes, preguntas de examen, respuestas con un tema concreto.
Establece generalizaciones o relaciones causa-efecto	Generaliza impulsivamente, no es capaz de identificar relaciones de causalidad	Algunas veces generaliza incorrectamente, establece relaciones de causalidad erróneas	Plantea generalizaciones acertadas e identifica correctamente relaciones causa-efecto	Argumenta correctamente las relaciones o generalizaciones identificadas	Estudio y análisis de casos que permitan a los alumnos generar a partir de lo que ocurre en situaciones concretas.
Expone sus ideas y genera conclusiones, partiendo de distintos datos y sus relaciones	Expone sus ideas como opiniones, sin apoyarse en datos objetivos	Se apoya en datos, pero solo tiene en cuenta los que apoyan su opinión	Expone sus ideas y genera conclusiones, partiendo de distintos datos y sus relaciones	Evalúa los datos y sus relaciones para llegar a conclusiones inéditas, generando nuevos conocimientos	Realización de trabajos académicos que requieran la lectura previa de un texto técnico, como por ejemplo un Real Decreto, una norma o un estándar.
Muestra una visión sistémica entre varias disciplinas y/o áreas de conocimiento	No consigue integrar elementos de varias disciplinas, áreas, perspectivas, etc. en un mismo planteamiento	Integra algunos elementos de diferentes ámbitos en un mismo planteamiento	Enfoca las situaciones de una manera sistémica, superando los límites de cada área de conocimiento	Presenta una visión sistémica de la realidad de un modo comprensible para los demás	Realización de un TFM donde se integren aspectos relacionados con diversas disciplinas.

Además de la competencia transversal propia de la asignatura y la comprensión e integración, se han trabajado otras competencias, con la posibilidad de evaluarlas, si la ERT lo desea. Sin pretender exhaustividad, se detallan ciertas competencias desarrolladas en la construcción y presentación del simulador.

CT02 Aplicación y pensamiento práctico

La competencia de tomar decisiones y actuar en consecuencia se ejercita en el trabajo propuesto, al tener que establecer los alumnos un plan coherente de acciones para conseguir el objetivo perseguido. Por ejemplo, el equipo debe planificar la construcción física del simulador, partiendo de cero, con el material que hay disponible, con unas pocas instrucciones y una escasa experiencia previa en la resolución de problemas similares, hasta

convertirlo en realidad con sus propias manos. Además, y una vez realizado el montaje físico de los diferentes elementos del proceso simulado, el equipo de trabajo debe planificar una serie de experiencias que lleven al límite el simulador con el fin de encontrar errores de diseño o en el procedimiento de ejecución de las pruebas. De acuerdo a las definiciones de la competencia, son necesarias las de nivel 3 para realizar el montaje de la centrifugadora y validar su funcionamiento antes de comenzar los experimentos.

CT03 Análisis y resolución de problemas

El análisis y resolución de problemas es también una parte importante del diseño y de la construcción del simulador. Una vez aportadas las soluciones, al contrastar éstas con las necesidades reales aparecen situaciones no advertidas que los alumnos deben analizar y resolver, implementando cambios en el montaje y estableciendo nuevos procedimientos de trabajo. Ejemplos de ello son velocidades excesivas de la bola, los rebotes, los bloqueos por la posición de la garra, los desajustes del embudo, las bolas que caen de la mesa,... Los alumnos deben estudiar las causas de los problemas y generar e implementar unas soluciones factibles e inmediatas. De acuerdo a las definiciones de la competencia, son necesarias las de nivel 3 para realizar el análisis de la centrifugadora.

CT08 Comunicación efectiva

La competencia de la comunicación efectiva se trabaja tanto en su vertiente escrita como oral. El nivel exigido a los alumnos en la memoria y en la exposición corresponderá al identificado como nivel 3 de la competencia, puesto que realizarán una memoria de un trabajo original y completo, utilizando las convenciones y el lenguaje propio de la estadística, y las normas de redacción de documentos científicos. Además realizarán una presentación de duración media, con turno de preguntas en el que los alumnos defenderán con argumentos el trabajo realizado, generando en ocasiones un debate con los otros equipos. Finalmente, los alumnos harán uso de las herramientas visuales necesarias para presentar los resultados, como el PowerPoint.

CT09 Pensamiento crítico

La competencia de pensamiento crítico también se ejercita en la actividad de innovación propuesta. En primer lugar cuando los alumnos comparan el montaje que han realizado con el montaje facilitado en el enunciado. Los alumnos comparan su propuesta con el montaje facilitado por el profesor, y como resultado de la comparación, los equipos modificarán el suyo para tener en cuenta alguna característica relevante que pudiera influir en la construcción del simulador y que previamente se hubiera pasado por alto. También se trabaja esta competencia cuando los alumnos valoran los potenciales factores de diseño relevantes en el proceso estudiado en una sesión de brainstorming. En dicha sesión deben formular y argumentar juicios y valoraciones sobre cada uno de los factores propuestos. Por todo ello consideramos que la competencia se desarrolla al nivel 3 de dominio.

CT06 Trabajo en equipo y liderazgo

La envergadura del trabajo hace que sea necesaria la participación de entre tres y cinco personas en el equipo, lo que implica colaboración y organización entre ellas. En un primer momento se procura que sean los propios alumnos los que muestren de forma natural su rol en el equipo, al forzar el inicio del trabajo sin apenas instrucciones y con cierto material de utilidad poco clara. Los alumnos ya han establecido previamente relaciones entre ellos durante las jornadas previas a esta, y en otras asignaturas del máster, y se espera que adquieran un cierto compromiso por ellos mismos en la organización de las actividades. Transcurrido un tiempo prudencial, los alumnos reciben un documento donde se enumeran los roles necesarios para construir y operar el simulador, y se solicita abiertamente que cada miembro del equipo debe escoger y ejercer el suyo: líder, secretario, facilitador, gestor del tiempo,.... El nivel de dominio mostrado depende del equipo concreto, y la tarea de los profesores ha sido la de observar la dinámica de trabajo en equipo para tomar nota de su funcionamiento y reconducir situaciones anómalas, que con frecuencia se han presentado.

CT12 Planificación y gestión del tiempo

Competencia indispensable para organizar y distribuir correctamente el tiempo de todas las actividades necesarias para alcanzar los objetivos propuestos. Las tres primeras actividades y un avance de los resultados deben realizarse en las cinco horas y media de clase previstas. En particular, la componente temporal es importante en la elección de los dos diseños de experimentos solicitados. El diseño escogido determina el número de pruebas a realizar, y la elección de un diseño u otro implica mucho más (o mucho menos) tiempo invertido en la ejecución del mismo. Además el problema se ha planteado de forma que los alumnos deban medir la envergadura temporal de la experimentación a realizar, y que esta sea una cuestión de peso en la elección de los diseños escogidos. Así mismo, la redacción de la memoria debe cumplirse en plazos, y la exposición de resultados completos se ajustará a los tiempos especificados. En este caso, las competencias exigidas para la parte final de la actividad propuesta corresponden al nivel 2, debido a que el trabajo se desarrolla en una única tarde, y la planificación de las tareas se realiza a muy corto plazo.

4. Resultados

Los resultados obtenidos en la materia con la introducción de la actividad de innovación y el cambio en la forma de evaluación son muy satisfactorios, de acuerdo a las impresiones manifestadas por los alumnos tanto al terminar la sesión de trabajo en el laboratorio como en la posterior presentación de los resultados. En todo momento la actitud mostrada por los estudiantes ha sido totalmente participativa y muy positiva, generando un buen ambiente de trabajo. El haber resuelto el problema, cuestión que queda patente para los alumnos en el experimento final, les produce una sensación de punto final con la evidencia de que todos los objetivos se han cumplido correctamente.

Desde el punto de vista de la evaluación de la asignatura, el análisis del montaje necesita de la mayor parte de los conocimientos estadísticos e informáticos que los alumnos han adquirido durante el curso. Además ha sido necesario que los alumnos conecten y estructuren mentalmente dichos conocimientos para llegar a la solución final. Y por si fuera

poco, ha habido un proceso adicional de racionalización al escribir la memoria final, mostrando el dominio de un lenguaje específico que pueden adaptar al nivel de la audiencia. En definitiva, se trata de una completísima forma de evaluar los conocimientos de la asignatura.

Pero dado que la satisfacción no puede ser introducida en el acta, y una calificación numérica sí, será necesario comparar los resultados obtenidos en las seis ediciones en que la materia completa de DOE ha sido ofertada a los estudiantes del máster.

Teniendo en cuenta la introducción en la asignatura de la nueva metodología la calificación final de un alumno en la asignatura se obtiene a partir de la expresión:

$$NotaFinal = 0,6 * NotaPracticadas + 0,4 * NotaActividad$$

Donde

- *NotaPracticadas* corresponde a la nota media de todos los ejercicios realizados en las sesiones de prácticas en el aula informática. Se llevan a cabo cinco sesiones de aula informática, con una duración de dos horas y media cada una, y en las que los alumnos realizan once ejercicios prácticos. En estos ejercicios se les facilita un enunciado referente a una cierta problemática, con datos procedentes de las colaboraciones de los profesores de la asignatura en diferentes empresas, modificados por razones de confidencialidad. Los alumnos deben escoger la técnica estadística de análisis adecuada para el tratamiento de los datos utilizando *software* estadístico y elaborando un informe con las conclusiones del análisis y las recomendaciones de mejora.
- *NotaActividad* es la nota obtenida en la realización del trabajo relativo al experimento de la centrifugadora. Esta nota se obtiene a partir de la memoria entregada, de su presentación, y de la observación del proceso de trabajo del equipo.

La Tabla 2 muestra el detalle del número de alumnos que ha obtenido las diferentes calificaciones en la materia (Excelente, Notable, Aprobado, No Presentado) en cada uno de los seis cursos, y la Figura 3 muestra estos mismos resultados representados gráficamente. Es necesario señalar que los alumnos que figuran como no presentados lo son por haber conseguido un contrato laboral y no haber podido continuar los estudios por incompatibilidad de los horarios o trabajar finalmente fuera de España.

Tabla 2. Resultados de la evaluación en los seis años de impartición

AÑO	Exc	Not	Apr	NP	Tot	Evaluación
2009-2010	0	2	5	1	8	Trabajo
2011-2012	0	5	17	1	23	Trabajo
2013-2014	0	4	0	0	4	Trabajo
2015-2016	8	4	0	0	12	Experimento
2016-2017	4	10	0	0	14	Experimento
2017-2018	5	2	0	1	8	Experimento

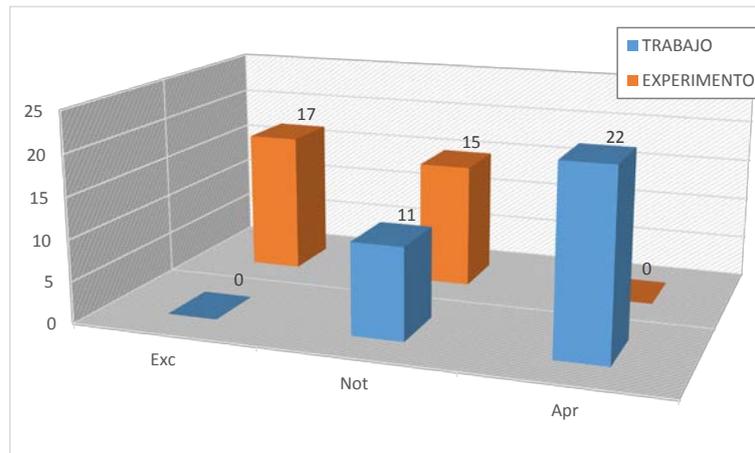


Fig. 3 Rendimiento de los alumnos en la materia de DOE en los seis años analizados, antes y después de la introducción de la innovación escogida

En los primeros años del máster la evaluación de la materia DOE se llevaba a cabo mediante la realización de un trabajo en el que los alumnos analizaban dos problemas reales, obtenidos a través de artículos de investigación publicados en revistas de ingeniería (referenciado como Trabajo en la Tabla 2). Los problemas se referían a la propuesta teórica de un diseño de experimentos y al análisis de los resultados del trabajo realizado por otros. Las notas obtenidas eran bastante discretas, con un porcentaje de aprobados de un 67% y un porcentaje de notables de un 33%, como se puede observar en el diagrama de sectores en la izquierda de la Figura 4. Durante el curso 2015-2016 se introdujo el cambio en la metodología docente, incluyendo la experimentación real en el proceso de aprendizaje y cubriendo el vacío existente entre el propio diseño del experimento y el análisis de los datos resultantes (referenciado como Experimento en la Tabla 2). Esto ha propiciado replantearnos la asignatura atendiendo a las competencias a alcanzar por los alumnos. Como puede observarse en el diagrama de sectores de la derecha en la Figura 4, los resultados son muy satisfactorios, por ejemplo el rango de las calificaciones obtenidas ha pasado del aprobado-notable al notable-excelente, con un porcentaje de excelente de un 53%, y de notable de un 47%. Además, si se tiene en cuenta que ahora los estudiantes son evaluados de un número considerablemente mayor de competencias, la mejora es todavía mucho mayor.

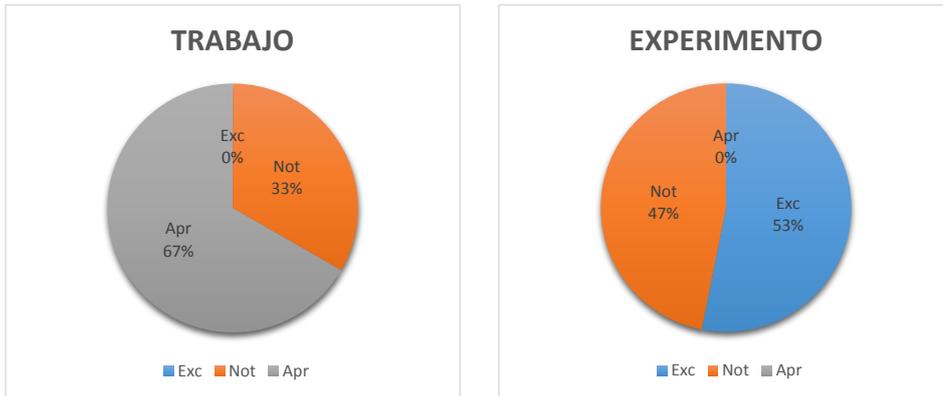


Fig. 4 Diagramas de sectores con las calificaciones de los alumnos, según han sido evaluados: mediante un trabajo final o mediante la actividad de innovación escogida

5. Conclusiones

En 2009 cuando se puso en marcha el máster de Ingeniería de Análisis de Datos, Mejora de Procesos y Toma de Decisiones, el profesorado de la UPV no estaba familiarizado con el concepto de aprendizaje basado en competencias. La materia de DOE se planteó con actividades que involucraran la participación activa del alumno y que reflejaran de forma “adecuada” su aplicación en la industria.

La introducción de las competencias de forma explícita y detallada en la guía de la asignatura, y en especial las competencias transversales ha permitido que el profesorado implicado en la docencia de esta materia realizara un cambio en la forma de proceder en las sesiones prácticas y en la evaluación de las asignaturas. La realización de experimentos reales en el laboratorio por parte de los alumnos surgió de manera natural para desarrollar y evaluar las competencias.

Se ha propuesto la realización de experimentos in situ que simulan procesos complejos en el ámbito de la ingeniería, lo que permite a nuestros alumnos reconocer la importancia que tiene el diseño de experimentos en la industria. Esta metodología activa refuerza los objetivos propuestos en las asignaturas: la selección del diseño de experimentos, la realización del análisis, la interpretación de los resultados y la determinación de las condiciones operativas óptimas asociadas al producto o proceso analizado. Además de estimular y motivar el trabajo y la participación activa del alumno, permite desarrollar las competencias de trabajo en equipo, planificación, análisis y resolución de problemas, así como la redacción y presentación pública de informes de carácter técnico-científico. Consideramos que el experimento propuesto proporciona una visión global de los contenidos ofrecidos en la materia, además de hacer explícitas y evaluables las competencias que se han comprometido con la ERT, incrementando y mejorando el aprendizaje. Sin lugar a dudas, pensamos que los alumnos formados con esta metodología serán mejores profesionales, ayudando así a cubrir las expectativas de formación que la sociedad demanda a la universidad.

6. Referencias

FERNÁNDEZ MARCH, A. (2006). Metodologías activas para la formación de competencias. *Educatio S.XXI* núm. 24, pág. 35-56. En <http://revistas.um.es/educatio/article/view/152/135>.

GIMA (2008). *Metodologías activas*. Valencia : Universitat Politècnica de València, Editorial UPV.

GONZÁLEZ, N. (2013). “Metodologías activas en la docencia universitaria: importancia, conocimiento y uso en opinión del profesorado”. *REVALUE Revista de evaluación educativa*, (vol. 2, núm. 2, pág. 88-107). <http://revalue.mx/revista/index.php/revalue/issue/current> [Consulta: 18 de marzo de 2018].

PEIRO-SIGNES, A. y SEGARRA-OÑA, M. (2015). “Experiential learning as a dynamizer of class activity”. En *Proceedings of International Conference of Education, Research and Innovation*, pág. 1010-1013. Noviembre 2015, Sevilla.

ROMERO, R. y ZÚNICA, L.R. (2004). *Métodos estadísticos en Ingeniería*, Editorial Universitat Politècnica de València.

UPV, Universidad Politècnica de Valencia. Proyecto institucional de las competencias transversales. <http://www.upv.es/contenidos/COMPTRAN/> [Consulta: 14 de marzo de 2018].

VILLA, A., POBLETE, M. (2007). *Aprendizaje basado en competencias. Una propuesta para la evaluación de las competencias genéricas*. Ediciones Mensajero. Bilbao.