



Universidad de Valladolid

PROGRAMA DE DOCTORADO EN INGENIERÍA INDUSTRIAL

TESIS DOCTORAL:

**ANÁLISIS DE LA INCORPORACIÓN DE
METODOLOGÍAS COLABORATIVAS EN
MATERIAS PROYECTUALES EN LAS
ENSEÑANZAS DE INGENIERÍA INDUSTRIAL**

Presentada por Moisés Blanco Caballero para optar al
grado de doctor por la Universidad de Valladolid

Dirigida por:

Dr. D. Alberto Sánchez Lite

Dr. D. Manuel García García

Valladolid, 2016

*“En cuestiones de cultura y de saber, sólo se pierde lo que se guarda;
sólo se gana lo que se da” **Antonio Machado***

A mi familia, por comprenderme siempre.

Agradecimientos

A Merche, por estar siempre dispuesta a ayudarme.

A Carolina y Diego, por sus aportaciones y ayuda.

*A Alberto y Manuel, por su constante dedicación y apoyo
necesario para la realización de esta Tesis.*

*A los compañeros y amigos que me han ayudado y han entendido
mi situación durante la elaboración de la Tesis.*



Índice

1.- Introducción.....	13
1.1.- Motivación.....	13
1.2.- Objetivos	17
1.3.- Planteamiento y Contenidos de la Tesis.	18
2.- Estado del Arte.....	27
2.1.- Evolución Histórica de la asignatura Proyectos en los Planes de Estudios de Ingeniería Industrial	27
2.1.1.- Inicios	27
2.1.2.- Plan Orgánico de las Escuelas Industriales de 1855	27
2.1.2.1.- Materias	28
2.1.3.- Ley de Instrucción Pública de 1857.....	29
2.1.4.- Reglamento Escuela Central de Ingenieros Industriales de 1902.....	30
2.1.4.1.- Ejercicios Fin de Carrera para la obtención del título de Ingeniero Industrial.	32
2.1.5.- Reglamento de la Escuela Central de Ingenieros Industriales de Madrid y Barcelona de 1907.....	33
2.1.5.1.- Pruebas de Ingreso y Número de cursos	33
2.1.6.- Denominación de las Escuelas destinadas a las Enseñanzas Técnicas, Artística e Industrial de 1915	34
2.1.7.- Reglamento de las Escuelas de Ingenieros Industriales (Madrid, Barcelona y Bilbao) de 1926.....	35
2.1.7.1.- Distribución de las Enseñanzas en Periodos.....	36
2.1.7.2.- Elaboración de Proyectos.....	36
2.1.7.3.- Ejercicio de Reválida	36
2.1.8.- Modificación del Plan de Estudios de Ingenieros Industriales de 1931.....	39
2.1.9.- Nuevo Plan de Estudios en las Escuelas Industriales de Madrid y de Gijón de 1941 ..	40
2.1.10.- Reorganización de las Escuelas de Peritos Industriales en 1942	42
2.1.11.- Reforma de los Estudios de la carrera de Ingeniero Industrial de 1948.....	43
2.1.11.1.- Ejercicios para la obtención del Título de Ingeniero Industrial	46
2.1.12.- Reglamento de las Escuelas de Ingenieros Industriales de 1950.....	46
2.1.13.- Ordenación de las Enseñanzas Técnicas en 1957.	49
2.1.14.- Planes de Estudios en las Escuelas Técnicas Superiores de 1962.....	50



2.1.15.- Reordenación de las Enseñanzas Técnicas en 1964.	51
2.1.15.1.- Plan de Estudios de los cursos tercero, cuarto y quinto	52
2.1.16.- Plan de Estudios de las Escuelas de Ingeniería Técnica de 1969	53
2.1.17.- Integración en 6 cursos del Plan de Estudios de la Escuela Técnica Superior de Ingenieros Industriales de la UPM de Madrid en 1976.....	54
2.1.18.- Directrices generales comunes de los Planes de Estudios Universitarios de 1987 ...	55
2.1.19.- Materias troncales en el Título de Ingeniero Técnico de 1992.....	56
2.1.19.1.- Materias troncales del Plan de Estudios de Ingeniero Técnico en Mecánica.....	57
2.1.20.- Directrices generales comunes de los Planes de Estudios Universitarios de 1994 ...	57
2.1.21.- Planes de Estudios de Ingeniero Industrial en distintas Universidades.....	58
2.1.22.- Plan de Estudios de Ingeniero Industrial en la Politécnica de Madrid del 2000.....	58
2.1.23.- Espacio Europeo de Educación Superior.....	60
2.1.24.- Ordenación de las enseñanzas Universitarias.....	61
2.1.24.1.- Diseño de los Planes de Estudio.....	61
2.1.24.2.- Requisitos para la verificación de los Títulos Universitarios.....	61
2.1.24.3.- Contenido de los Planes de Estudio	62
2.1.25.- Racionalización del gasto público de 2012	63
2.2.- Metodologías Colaborativas.....	64
2.2.1.- Introducción.....	64
2.2.2.- Implicación de los estudiantes en su aprendizaje y asignaturas que requieren labor de investigación.....	69
2.2.3.- Mejoras en el sistema de aprendizaje	72
2.2.4.- Los estudiantes en el aprendizaje colaborativo.....	74
2.2.5.- Elementos integrantes en el aprendizaje colaborativo: Desempeño y Rol Docente – Alumno.....	76
2.2.6.- Herramientas utilizadas en el aprendizaje colaborativo.	80
2.2.7.- Experiencias en la aplicación del aprendizaje colaborativo, y su aplicación en los proyectos de Ingeniería Industrial.	84
2.3.- Evolución en la realización de los Proyectos.....	94
2.3.1.- ¿Qué es BIM?	94
2.3.2.- Posibilidades de BIM.....	96
2.3.3.- Usos del BIM	99
2.3.4.- Necesidades de formación en BIM	101



2.3.5.- Incorporación del BIM en el Sistema Educativo	102
2.3.6.- Problemática BIM.....	104
2.4.- Herramientas de Decisión Multicriterio.....	105
2.4.1.- ¿Cómo estructurar un problema de decisión?	107
2.4.2.- AHP en el método de decisiones en grupo	107
2.4.2.1.- PASO 1. Planteamiento: meta y jerarquía	108
2.4.2.2.- PASO 2. Comparación de criterios: comparación por pares en matrices	108
2.4.2.3.- PASO 3. Cálculo de prioridades.....	108
2.4.2.4.- PASO 4. La agregación de los juicios y prioridades individuales.....	109
2.4.2.5.- PASO 5. Análisis de consistencia.....	109
2.4.2.6.- PASO 6. Juicio y análisis de consenso del grupo:	110
2.4.2.7.- PASO 7. Agregación global: ranking de alternativas	111
2.5.- Análisis crítico del Estado del Arte	112
3.- Adaptación de Metodologías Colaborativas en la docencia de Proyectos Técnicos	121
3.1.- Contextualización y Planteamiento del Análisis.....	122
3.2.- Adaptación de una metodología colaborativa en materias proyectuales	124
3.2.1.- Incorporación de las TIC: TIC utilizadas dentro de la metodología planteada	127
3.2.2.- Elección y evaluación de criterios: Priorización de decisiones en grupo.....	129
3.2.3.- Priorización de alternativas. Decisión en grupo	132
3.3.- Elección y estudio de las variables de influencia.	134
3.3.1.- Análisis de varianza para la variable tiempo.....	137
3.3.2.- Análisis de varianza para la variable satisfacción.	139
3.3.3.- Análisis de varianza para la variable calidad.....	141
3.4.- Criterios y función de valor para el análisis del comportamiento de la metodología colaborativa implementada	143
3.4.1.-Elección de Criterios	143
3.4.2.- Función de valor.....	145
3.5.- Discusión de Resultados.....	153
4.- Aplicación	159
4.1.- Aplicación en un entorno académico: Evaluación de la metodología: Criterios y función de valor.....	160
4.1.1.- Nivel de aprendizaje global (relativo al proyecto) adquirido.....	160



4.1.2.- Nivel de desarrollo de otras habilidades.....	161
4.1.3.- Grado de satisfacción de los estudiantes con el sistema.....	161
4.1.4.- Función de valor.....	161
4.2.- Aplicación en un entorno académico: Evaluación en la metodología colaborativa planteada del uso de BIM como herramienta.	176
4.2.1.- Contexto de aplicación.....	177
4.2.2.- Resultados esperados	180
4.2.3.- Proceso de Implantación de BIM	181
4.2.4.- Fases de la implantación.....	181
4.2.5.- Propuesta de trabajo	182
4.2.6.- Herramientas y procedimientos BIM utilizados para el desarrollo del proyecto	183
4.2.7.- Proceso secuencial del proyecto.....	184
4.2.8.- Análisis: Percepción de los docentes y alumnos.....	190
4.2.9.- Análisis Estadístico.	192
4.3.- Aplicación en un entorno industrial: Evaluación alternativas de diseño conceptual de un puesto de trabajo en la industria del sector metal utilizando la metodología planteada.....	198
4.4.- Discusión de Resultados.....	213
5.- Conclusiones y Líneas Futuras	221
5.1.- Conclusiones.....	221
5.2.- Líneas Futuras.....	223
5.3.- Producción Científica.....	225
6.- Bibliografía	231

Tablas

Tabla 1. Plan de Estudios (1º y 2º curso) Escuela Central 1855	28
Tabla 2. Plan de Estudios (3º, 4º y 5º curso) Escuela Central 1855	29
Tabla 3. Materias a impartir en Ingenieros Industriales 1857	30
Tabla 4. Plan de Estudios Escuela Central 1902	31
Tabla 5. Plan de Estudios (1º, 2ºy 3ºcurso) Escuela Central y de Barcelona 1907	33
Tabla 6. Plan de Estudios (4º, 5ºy 6ºcurso) Escuela Central y de Barcelona 1907	34
Tabla 7. Cursos primero y segundo, primer periodo, plan de estudios 1926	37
Tabla 8. Cursos tercero, cuarto y quinto, segundo periodo, plan de estudios 1926	37
Tabla 9. Curso sexto grupo A, tercer periodo, plan de estudios 1926	38
Tabla 10. Curso sexto grupo B, tercer periodo, plan de estudios 1926	38
Tabla 11. Curso sexto grupo C, tercer periodo, plan de estudios 1926	38
Tabla 12. Plan de Estudios (1º, 2º, 3º y 4º curso) Ingenieros Industriales 1931	39
Tabla 13. Plan de Estudios (5º y 6º curso) Ingenieros Industriales 1931	40
Tabla 14. Plan de Estudios (1º curso) Perito Industrial 1941	40
Tabla 15. Plan de estudios (1º, 2º y 3º curso) Perito Industrial 1941	41
Tabla 16. Plan de Estudios (1º, 2º y 3º curso) Ingeniero Industrial 1948	43
Tabla 17. Plan de Estudios (4º curso) Ingeniero Industrial 1948	44
Tabla 18. Plan de Estudios (5º y 6º curso) Ingeniero Industrial 1948	45
Tabla 19. Plan de Estudios (cursos 1º, 2º y 3º) Ingeniero Industrial 1950	46
Tabla 20. Plan de Estudios (curso 4º) Ingeniero Industrial 1950	47
Tabla 21. Plan de Estudios (cursos 1º, 2º y 3º) Ingeniero Industrial 1950	48
Tabla 22. Plan de Estudios (Iniciación y 1º curso) Escuelas Técnicas Superiores 1962	50
Tabla 23. Plan de Estudios (2º, 3º, 4º y 5º curso) Escuelas Técnicas Superiores 1962	51
Tabla 24. Plan de Estudios Ingenieros Industriales 1965	52
Tabla 25. Plan de estudios Ingeniero Técnico Industrial Especialidad Mecánica 1969	53
Tabla 26. Plan de estudios ETSII de Madrid 1976	54
Tabla 27. Plan de estudios ETSII de Madrid 1976	55
Tabla 28. Materias Troncales Plan de Estudios Ingeniero Técnico en Mecánica 1992	56
Tabla 29. Plan de Estudios (1º, 2º y 3º curso) Ingeniero Industrial Politécnica de Madrid	59
Tabla 30. Plan de Estudios (4º y 5º curso) Ingeniero Industrial Politécnica de Madrid	60
Tabla 31. Módulo de Formación Básica (Contenido Planes de Estudio) EEES	62
Tabla 32. Módulo Común a la Rama Industrial (Contenido Planes de Estudio) EEES	63
Tabla 33. Resumen distintos estudios realizados en distintas áreas sobre trabajo colaborativo con grupos pequeños	66
Tabla 34. Características, y beneficios aportados por el trabajo colaborativo adaptado de (López-Yáñez, I. et al., 2015), (Vangrieken, K. et al., 2015), (Lee, S.; Kang, E. y Kim, H. B., 2015), (Rozenszayn, R. y Assaraf, O. B-Z., 2011) y (Lai, E.R., 2011)	67
Tabla 35. Establecimiento de criterios, subcriterios, herramientas y estándares 1.	130
Tabla 36. Establecimiento de criterios, subcriterios, herramientas y estándares 2.	131



Tabla 37. Variables de influencia planteadas y sus niveles	136
Tabla 38. Tabla ANOVA. Análisis de la varianza para la variable tiempo	137
Tabla 39. Rangos múltiples para la variable tiempo	139
Tabla 40. Análisis de la varianza para la variable satisfacción	140
Tabla 41. Análisis de la varianza para la variable calidad.....	141
Tabla 42. Parámetros medidores y función de valor (Medidor Global).....	147
Tabla 43. Parámetros medidores y función de valor (Medidor Global) (Continuación).....	148
Tabla 44. Matrices de comparación por pares y vector de prioridad local para cada decisor. Variable B	149
Tabla 45. Matrices de comparación por pares y vector de prioridad local para cada decisor. Variable B. Continuación.....	150
Tabla 46. Matrices de comparación por pares y vector de prioridad. Matriz Consolidada para MG y para la variable B	151
Tabla 47. Matrices de comparación por pares y vector de prioridad. Matriz Consolidada para MG y para la variable B. Continuación.....	152
Tabla 48. Parámetros medidores y función de valor (Medidor Global).....	163
Tabla 49. Parámetros medidores y función de valor (Medidor Global) (continuación)	164
Tabla 50. Matrices de comparación por pares y vector de prioridad local para cada decisor. Variable B	165
Tabla 51. Matrices de comparación por pares y vector de prioridad local para cada decisor. Variable B. Continuación.....	166
Tabla 52. Matrices de comparación por pares y vector de prioridad. Matriz Consolidada para MG y para la variable B.	167
Tabla 53. Matrices de comparación por pares y vector de prioridad. Matriz Consolidada para MG y para la variable B. Continuación.....	168
Tabla 54. Preguntas de la encuesta.....	177
Tabla 55. Análisis estadístico de los resultados de las encuestas.....	192
Tabla 56. Matriz de correlación policórica	194
Tabla 57. Medida de adecuación muestral de Kaiser-Meyer-Olkin (KMO).....	194
Tabla 58. Factores después de rotación.....	195
Tabla 59. Valores obtenidos mediante las herramientas y estándares elegidos en la metodología. Puntuaciones siguiendo la escala 1 (valor óptimo) a 3 (valor no aceptable) definida para cada criterio.	203
Tabla 60. Matrices de juicios individuales y criterios de ergonomía, seguridad y sostenibilidad	205
Tabla 61. Matriz consolidada y vector de prioridad global	206
Tabla 62. Resultados análisis de consistencia aplicando el índice CGI y de consenso aplicando el índice GCCI.	206
Tabla 63. Priorización de alternativas. Decisor 1 (D1)	208
Tabla 64. Priorización de alternativas. Decisor 2 (D2)	209
Tabla 65. Priorización de alternativas. Decisor 3 (D3)	210
Tabla 66. Priorización de alternativas. Decisor 4 (D4)	211

Figuras

Figura 1. Propuesta del Consejo de Coordinación Universitaria.....	13
Figura 2. Esquema de desarrollo de la Tesis	22
Figura 3. Enfoques de aprendizaje colaborativo, adaptado de Srinivas, H. 2011. National Institute for Science Education	68
Figura 4. Proceso de ejecución de la metodología colaborativa. Duración de cada tarea dentro de una clase tipo.	126
Figura 5. Conjunto de criterios de evaluación de alternativas.....	129
Figura 6. Proceso de evaluación de consenso aplicando los resultado obtenido mediante la metodología AHP, con la ayuda del método gráfico Bland–Altman.....	134
Figura 7. Intervalos de confianza al 95% y valores de media para tiempo	138
Figura 8. Gráfico de interacciones.....	139
Figura 9. Intervalos de confianza al 95% y valores de media para satisfacción.....	140
Figura 10. Gráfico de interacciones.....	141
Figura 11. Intervalos de confianza al 95% y valores de media para calidad	142
Figura 12. Gráfico de interacciones.....	143
Figura 13. Diagrama Jerárquico de Decisión para evaluar la metodología.....	146
Figura 14. Diagrama Jerárquico de Decisión para evaluar la metodología.....	162
Figura 15. Diagrama Bland–Altman para la evaluación del consenso entre los decisores: D1 respecto a D2 (imagen superior izquierda), D2 respecto a D3 (imagen superior derecha) y D1 respecto a D3 (imagen inferior).	169
Figura 16. Comparativa de los resultados obtenidos teniendo en cuenta los distintos criterios considerados, para la metodología tradicional (en azul), respecto a la metodología planteada SAAC (en rojo). Mayor valor representa un mejor resultado.	171
Figura 17. Perspectiva isométrica. Resultado final del conjunto diseñado	184
Figura 18. Representación, características y datos de un muro de cerramiento de la nave diseñada por el grupo de trabajo.....	185
Figura 19. Perspectiva del edificio de oficinas diseñado por el grupo de trabajo	186
Figura 20. Interior del edificio de oficinas diseñado por el grupo de trabajo.....	186
Figura 21. Diseño de estructura metálica de la nave por parte de un equipo de trabajo	187
Figura 22. Vista 3D de la Instalación eléctrica diseñada por un equipo de trabajo.....	189
Figura 23. Diagrama de cajas para las respuestas de los alumnos	193
Figura 24. Gráfico de Sedimentación	194
Figura 25. Observaciones y Cargas factoriales tras Rotación Varimax	196
Figura 26. Alternativas de diseño puesto de trabajo (alternativa B imagen izquierda, y C imagen derecha)	199
Figura 27. Entorno simulación 3D	200
Figura 28. Entorno simulación 3D. (2).....	201
Figura 29. Integración Robot.....	202



Figura 30. Diagrama Jerárquico de Decisión para evaluar los distintos diseños del puesto de trabajo 204

Figura 31. Diagrama Bland–Altman para la evaluación del consenso entre los decisores D1 a D4 207



Ecuaciones

Ecuación (1). Cálculo de las prioridades w_i , aplicando en método RGMM	108
Ecuación (2). Cálculo de las componentes c_{ij} de la matriz consolidada	109
Ecuación (3). Cálculo del índice de consistencia geométrico (GCI)	110
Ecuación (4). Cálculo de $\hat{e}_{ij}^{[k]}$	110
Ecuación (5). Cálculo del índice de consenso geométrico ordinal GOCl.....	110
Ecuación (6). Cálculo del índice de consenso geométrico ordinal GOCl.....	111
Ecuación (7). Estimación del valor del índice-límite para la inconsistencia.....	111
Ecuación (8). Priorización de las alternativas de menor a mayor puntuación	111
Ecuación (9). Intervalo comprendido para d_i	134
Ecuación (10). Agregación aditiva para obtener el ranking de alternativas	212



Introducción

Motivación y Objetivos

1.- Introducción

1.1.- Motivación

En referencia a la implantación de los nuevos grados en materias técnicas, el Consejo de Coordinación Universitaria proponía en 2006 el uso de metodologías más activas y motivadoras que, por una parte fueran capaces de acercar al alumno a su futuro entorno profesional y, por otro, dotar a éste de las capacidades que junto al conocimiento científico técnico actualmente se requieren en el ejercicio de la profesión. Para realizar esto, dentro de los actores responsables (Administraciones Educativas, estudiantes y docentes), el Consejo denota a los docentes como un elemento clave. La figura 1 resume la propuesta del Consejo de Coordinación Universitaria.



Figura 1. Propuesta del Consejo de Coordinación Universitaria



El desarrollo del pensamiento científico se considera uno de los objetivos planteados en la formación universitaria, en el que deben participar todas las disciplinas que se imparten (Serra Toledo, R. et al., 2013). Conseguir mejores resultados académicos y mejorar en el aprendizaje autónomo, se logra por medio de la participación activa y la interacción de los estudiantes (Sanchez-Elez, M. et al., 2014). El aprendizaje activo (Freeman, S. et al., 2014) y el aprendizaje a través de actividades educativas basadas en problemas (Khoukhi, A., 2013), han demostrado ser muy eficaces en la comprensión y resolución de los diferentes problemas planteados.

La interacción entre los estudiantes y el docente influye en el proceso de diseño que realizan los estudiantes, puesto que éstos al tomar decisiones se apoyan en los conocimientos de diseño adquiridos mediante la puesta en común de los conocimientos y las experiencias. (Esjeholm, B-T. y Bungum, B., 2013).

Como se ha destacado anteriormente, existe la necesidad de impulsar un cambio en las metodologías hasta ahora utilizadas. Se tiene que plantear un nuevo espacio en el que el alumno adquiera un verdadero compromiso en su aprendizaje, siendo partícipe de él, y colaborando activamente en la consecución de este objetivo. El docente por su parte, debe involucrar al estudiante en su aprendizaje, generándole entusiasmo en su formación, utilizando su experiencia y los medios necesarios para que el alumno se considere una pieza fundamental de su proceso formativo. Con el fin de lograrlo, se debe interactuar estrechamente con las necesidades de la industria. También se debe tomar la iniciativa de elaborar en la industria su propio sistema educativo (Shrivastav, O. P., 2004), persiguiendo el objetivo de elaborar una estrategia para conseguir que en la realización de proyectos el nivel de conocimientos adquiridos sean lo suficientemente importantes para lograr que los proyectos se ajusten lo máximo posible a las soluciones demandadas.

La utilización y evaluación de metodologías colaborativas ya ha sido empleada con éxito en distintos niveles de formación académica, recomendando su uso en niveles universitarios (Barkley, E. F.; Cross, K. P. y Major, C. H., 2007). No se encuentra un gran número de experiencias de trabajo colaborativo en materias proyectuales. En relación a los distintos estudios realizados en otras áreas, algunos autores como Kybndt et al 2013 recomiendan implantar esta metodología en materias relacionadas con la ingeniería.

La materia proyectos de ingeniería dentro del Espacio Europeo de Educación Superior tiene como objetivo desarrollar una serie de competencias (Orden CIN/351/2009, de 9 de febrero, por la que se establecen los requisitos para la

verificación de los títulos universitarios oficiales que habiliten para el ejercicio de la profesión de Ingeniero Técnico Industrial) como son:

Competencias generales:

- Capacidad para resolución de problemas (CG6)
- Capacidad de razonamiento crítico/análisis lógico (CG7)
- Capacidad para aplicar los razonamientos a la práctica (CG8)
- Capacidad para diseñar y desarrollar proyectos (CG10)
- Capacidad para el manejo de especificaciones técnicas y la elaboración de informes técnicos (CG15)

Competencias específicas:

- Capacidad para diseñar y desarrollar proyectos.
- Cultura del proyecto: capacidad de adaptar la creatividad, las herramientas metodológicas y los conocimientos adquiridos a la resolución de problemas de diferente índole, relacionados con el desarrollo de producto.
- Gestión Proyectual e innovación.
- Aplicar y dominar conocimientos culturales, tecnológicos y de comunicación.
- Comprender y aplicar conocimientos de Tecnologías de la Información.
- Comprender y aplicar conocimientos de Calidad
- Capacidad para desarrollar procesos proyectuales.
- Realización de proyectos de diseño y desarrollo industrial.
- Capacidad para planificar las fases de desarrollo de un producto a nivel conceptual.
- Capacidad para planificar las fases de desarrollo de un producto a nivel de detalle.
- Capacidad para diseñar, redactar y dirigir proyectos relacionados con la especialidad.
- Capacidad para el manejo de especificaciones técnicas y la elaboración de informes técnicos para proyectos de ingeniería.
- Conocimientos y capacidades para organizar y gestionar proyectos. Conocer la estructura organizativa y las funciones de una oficina de proyectos.
- Capacidad de proyectar, visualizar y comunicar ideas.
- Capacidad para aplicar los conocimientos de tecnología, componentes y materias.
- Comprender y aplicar conocimientos de legislación.



- Comprender y aplicar conocimientos de seguridad y salud laboral
- Capacidad para diseñar, redactar y dirigir proyectos técnicos industriales.
- Aplicar normas, reglamentos y especificaciones de obligado cumplimiento.
- Conciencia medioambiental, compromiso con la preservación del medio ambiente y la sostenibilidad.

Estas competencias se desarrollan en diferentes asignaturas de Proyectos/Oficina Técnica, correspondientes a titulaciones de Ingeniería Industrial, en los Grados de Tecnologías Industriales, Mecánica, Electricidad, Electrónica y Automática, Química, Organización Industrial y Diseño Industrial. Establecer un sistema de aprendizaje basado en la incorporación de una metodología colaborativa, incidirá en mayor o menor grado en cada una de las competencias citadas.

En un entorno activo y colaborativo, las herramientas pueden llegar a tener gran protagonismo y jugar un papel importante. Esto, si cabe, puede ser de especial relevancia en las enseñanzas de Ingeniería Industrial en materias como los Proyectos Industriales. Actualmente, la actividad proyectual se encuentra en una fase de reconversión importante a nivel mundial. Nuevas metodologías basadas en el uso de herramientas de modelado y simulación en 3D en entornos de concepción, desarrollo y explotación, que se integra de manera natural con sistemas de planificación de la fabricación, recursos, y logística a nivel corporativo (ERP, MPRII, MRP), con un enfoque próximo al que actualmente se emplea en sectores como aeronáutica o automoción, están comenzando a cobrar un protagonismo importante en proyectos de edificación, instalaciones y obra civil. En esta línea, el modelado BIM (Building Information Modeling) está suponiendo un cambio de mentalidad en la realización de proyectos. La fase de redacción del proyecto tiene una fuerte influencia en su posterior ejecución y explotación. La información contenida en esta fase tiene que ser lo más completa posible. BIM considera el proyecto durante todo el ciclo de vida, los conocimientos adquiridos durante la explotación del proyecto tienen que revertir a la hora del diseño.

Teniendo en cuenta las necesidad de este cambio metodológico descrito, se demanda la necesidad de analizar la incorporación de Metodologías Colaborativas en Materias Proyectuales en las Enseñanzas de Ingeniería Industrial a fin de poder establecer un sistema de aprendizaje desde el plano docente hacia la práctica en el entorno profesional, que dé respuesta a las necesidades planteadas en la docencia de las materias proyectuales, y pueda ser utilizado en la práctica profesional.

Todo lo anteriormente expuesto, añadido a la situación actual de los planes de estudio, en los que están variando las horas de formación del alumnado para la realización de proyectos, hace necesario un profundo estudio de esta situación, analizando exhaustivamente los puntos anteriormente mencionados, con el objetivo de elaborar una estrategia para conseguir que en la realización de proyectos el nivel de conocimientos adquiridos por parte de los responsables de su realización sean lo suficientemente importantes para lograr que los proyectos se ajusten lo máximo posible a las soluciones demandadas.

1.2.- Objetivos

El objetivo principal de esta tesis es analizar la incorporación de Metodologías Colaborativas en Materias Proyectuales en las Enseñanzas de Ingeniería Industrial para, de este modo, poder establecer un modelo metodológico que, integrando un sistema de aprendizaje, permita principalmente la redacción de proyectos, con una base de conocimientos lo suficientemente importante para conseguir que los proyectos industriales cumplan los objetivos para los que fueron diseñados.

El uso de este modelo metodológico podrá ser utilizado por los proyectistas, tanto en su proceso de formación, como en el desarrollo de su actividad y en el trabajo en equipo, con la suficiente generalidad que pudiera permitir su extrapolación a otras fases del ámbito de los proyectos. Asimismo, se contempla probar la validez de la metodología en un entorno industrial real.

Existe la necesidad de impulsar como innovación docente, un cambio en las metodologías hasta ahora utilizadas, planteando un nuevo espacio en el que el alumno adquiera un verdadero compromiso en su aprendizaje, siendo partícipe de él, colaborando activamente en la consecución de este objetivo. El docente por su parte debe involucrar al alumno en su aprendizaje, generándole entusiasmo en su formación, utilizando su experiencia y los medios necesarios para que el alumno se considere una pieza fundamental de su proceso formativo.

Para la consecución del objetivo final, se han establecido los siguientes objetivos específicos:

- Analizar los problemas existentes en la aplicación de la metodología colaborativa dentro del ámbito de interés del trabajo planteado, que se presentan en la literatura científica referente a las nuevas tendencias meto-



dológicas y los consejos de cambio de metodología dentro del ámbito científico y académico.

- Analizar la incorporación de Metodologías Colaborativas en Materias Proyectuales en las Enseñanzas de Ingeniería Industrial
- Establecer un sistema de aprendizaje a partir de la información recopilada, tanto de la literatura científica, la aconsejada para el nuevo espacio de educación universitaria, y las conclusiones obtenidas del análisis anterior.
- Aplicar el sistema de aprendizaje en escenarios diferentes, relacionados con la práctica docente de las materias de los proyectos de Ingeniería Industrial.
- Analizar los resultados de su aplicación en los distintos escenarios.
- Implementar el sistema a las nuevas técnicas y exigencias para la realización de proyectos, completando los planes de formación actuales.

1.3.- Planteamiento y Contenidos de la Tesis.

El trabajo desarrollado en la presente tesis, se ha dividido en tres bloques principales: Un primer bloque relativo al estado del arte, un segundo bloque referente a la adaptación de una metodología colaborativa para la docencia de proyectos técnicos, y un último bloque en la que se evalúa la incorporación de dicha metodología. La figura 1 muestra el enfoque del trabajo desarrollado, según su distribución en los diferentes capítulos de la tesis.

El capítulo 2, referente al estado del arte, se estructura en 4 apartados : *planes de estudios en enseñanzas técnicas, metodologías colaborativas, nuevas demandas en la realización de proyectos técnicos, y técnicas de decisión multicriterio.*

En referencia a los planes de estudio en enseñanzas técnicas, en el estado del arte se ha analizado la evolución histórica de los contenidos en materias proyectuales en los estudios de Ingeniería Industrial. Su evolución en el transcurso del tiempo y de los distintos planes de estudio.

Respecto a las metodologías colaborativas en el estado del arte, se han analizado, sus características, la implicación de los docentes y los estudiantes y su

implementación en formación universitaria y particularmente en la impartición de proyectos técnicos.

Un tercer apartado, dentro del estado del arte, contempla la evolución en la realización de los Proyectos, analizando las nuevas formas de proyectar utilizando herramientas 3D. En esta línea, el concepto Building Information Modeling (BIM) se identifica como una evolución en la realización de proyectos técnicos. Se realiza un estudio de su concepto, implantación y adaptación en un entorno educativo, con el propósito de poder incorporar la herramienta dentro de metodologías colaborativas. Metodología, y herramientas están relacionadas. La adaptación de una metodología colaborativa tendría que permitir el uso de las nuevas herramientas y enfoques (por ejemplo BIM) en la realización de proyectos técnicos. El uso de BIM se plantea como ejemplo sobre el que aplicar, validar la metodología y evaluar su influencia.

Por último, en el apartado 4 del estado del arte, se han analizado las herramientas de decisión Multicriterio. Una metodología colaborativa implica la puesta en común de información y resultados, para la toma de decisiones en grupo con múltiples criterios de evaluación.

La información del primer apartado del estado del arte, ha sido obtenida principalmente de las distintas gacetas y boletines oficiales del estado, además de la consulta de diferentes publicaciones.

Para los siguientes apartados del estado del arte, la información se ha obtenido principalmente de la base de datos Web Of Science (WOS), anteriormente denominada Web Of Knowledge (WOK), accesible desde la Universidad de Valladolid. Así, como de las bases de datos ERIC (Education Resource Information Center, Institute of Education Sciences (IES) of the U.S. Department of Education), ProQuest y Teseo.

Las principales revistas consultadas han sido:

- Design Studies.
- Computers in Human Behavior.
- Studies in Higher Education.
- Journal of the Scholarship of Teaching and Learning.
- International Journal of Educational Research.
- Journal on Excellence in College Teaching.
- Data & Knowledge Engineering.
- International Journal of Engineering Education.
- International Journal of Technology and Design Education.



- International Journal of Higher Education.
- International Journal of Teaching and Learning in Higher Education.
- IEEE. Transactions on Education.
- Education Information Technologies.
- Science Education International.
- International. Journal. Production Economics
- Journal of Science Education and Technology
- Journal of Professional Issues in Engineering Education and Practice
- Automation in Construction
- European Journal of Operational Research

Las palabras clave utilizadas fueron:

- Collaborative Method, Collaborative Method Analysis, Collaborative Tools, Collaborative Case Study Learning, Teaching Methodology, Projects, Engineering, Active Methodology, Student-Student-Teacher Collaborative Learning Process.
- BIM, teaching, implementation, modeling, engineering, project
- Decision, priority, rank, cost-benefit, scales, ratios. Group decision making, Analytic Hierarchy Process (AHP), consensus, judgment updating

Se han tenido en cuenta también las aportaciones de diferentes congresos educativos, de carácter nacional e internacional, consultas de legislación española, normativas, guías, así como diferentes libros.

En el capítulo 3 dedicado a la implantación de metodología colaborativa para proyectos técnicos, se describe la metodología colaborativa que se propone implantar. La metodología que se implementa, consiste principalmente en un sistema de aprendizaje activo colaborativo. Su objetivo fundamental es tratar de conseguir que los usuarios aprendan de manera coordinada y asimilen esta metodología.

La evaluación de la incorporación de la metodología planteada (capítulo 4) se realiza para la impartición de una materia tan compleja como son los Proyectos de Ingeniería en las Escuelas de Ingeniería.

El capítulo 5 presenta las conclusiones obtenidas y las líneas futuras que la presente tesis deja abiertas. Se completa la tesis con las referencias bibliográficas consultadas (capítulo 6).

El análisis de la incorporación de la metodología colaborativa adaptada planteada para materias proyectuales en las enseñanzas de Ingeniería Industrial se realiza en dos fases:

- Fase 1: Aplicación académica en asignaturas de proyectos durante un periodo que supera los cinco años. Su aplicación incluye 2 escenarios distintos. El primer escenario, se plantea para la obtención de una función de valor que, mediante la elección de un conjunto de criterios característicos del impacto del uso de la metodología planteada, pueda ser utilizada como escala comparativa frente a otras metodologías docentes. Se evalúa el impacto de una metodología colaborativa frente a la clase magistral.

En este escenario, la aplicación de la metodología colaborativa se desarrolla con la ayuda de herramientas convencionales de dibujo técnico 2D, habituales en los proyectos técnicos.

En un segundo escenario, se ha planteado un caso de estudio para la evaluación en la metodología colaborativa utilizando BIM como herramienta.

- Fase 2: Una aplicación con alumnos de postgrado /trabajo fin de grado en un entorno de trabajo durante la fase de concepción de diseño dentro de una planta industrial.

En la figura 2 se muestra un esquema del desarrollo de la tesis.

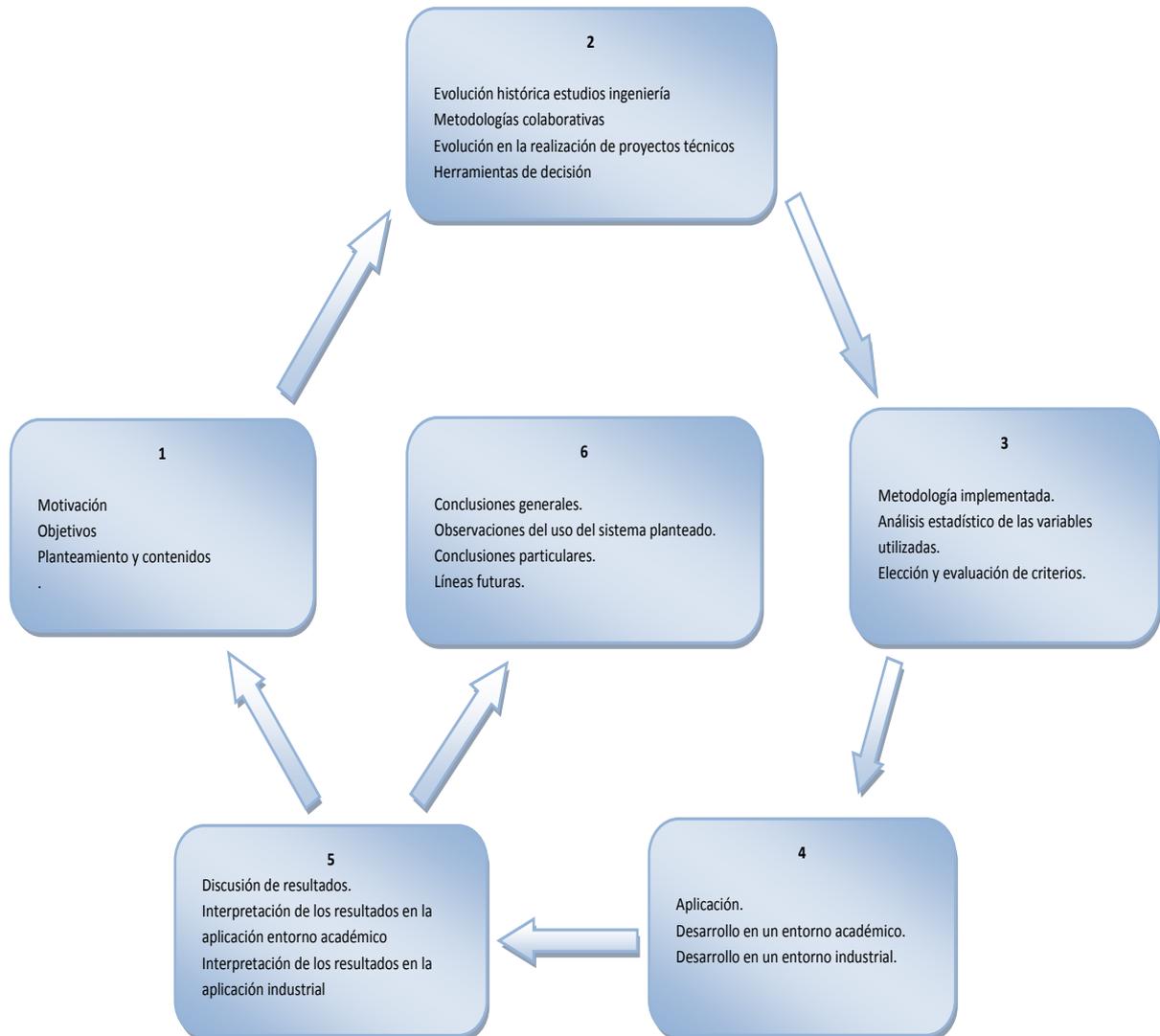


Figura 2. Esquema de desarrollo de la Tesis



Estado del Arte

2.- Estado del Arte

2.1.- Evolución Histórica de la asignatura Proyectos en los Planes de Estudios de Ingeniería Industrial

2.1.1.- Inicios

La Ingeniería Industrial deriva del Real Conservatorio de Artes de 1824, cuyas enseñanzas estaban dirigidas a la formación de Ingenieros en las distintas ramas de la industria. El cuatro de septiembre de 1850, el entonces Ministro de Comercio, Instrucción y Obras Públicas, propuso a la Reina la creación de Escuelas Industriales, creándose estas mediante un Real Decreto en el que se establecían las diferentes clases de Enseñanza Industrial y las Escuelas donde debían de impartirse (RD creación Escuelas Industriales, septiembre 1850).

Se estableció que la enseñanza industrial sería de tres clases:

ELEMENTAL, DE AMPLIACIÓN Y SUPERIOR.

Estas enseñanzas se organizarían de modo que los alumnos de la **ELEMENTAL** puedan pasar a la de **AMPLIACIÓN**, y los de ésta a la **SUPERIOR**.

En la Enseñanza Superior, para ser admitido, se necesitaría haber superado los tres años de la enseñanza de ampliación. Esta enseñanza superior duraría dos años y tendría por objeto dos clases de alumnos: mecánicos y químicos.

Para los alumnos mecánicos, la enseñanza sería, dentro del segundo año:

- Construcción de toda especie de máquinas con su Dibujo correspondiente, Economía y Legislación Industriales.,

Se puede observar en esta enseñanza su similitud a la que posteriormente se definiera como proyectos industriales.

2.1.2.- Plan Orgánico de las Escuelas Industriales de 1855

El 20 de mayo de 1855, se promulga mediante un Real Decreto el Plan Orgánico de las Escuelas Industriales, que se publica en las Gacetas del 22 de mayo



(RD. estableciendo el Plan de las Escuelas Industriales, mayo 1855), continúa su publicación en la Gaceta del 23 de mayo (RD. concluye el Plan de las Escuelas Industriales, mayo 1855), y finaliza el 28 de mayo del mismo año (RD para que se observe y cumpla el reglamento, mayo 1855). Este plan clasifica a las Escuelas Industriales en ELEMENTALES, PROFESIONALES Y LA ESCUELA CENTRAL.

Este plan de estudios era más completo que el anterior, introduciendo en este caso los idiomas.

2.1.2.1.- Materias

Las materias de este plan de estudios eran las mismas que en las demás Escuelas, pero en este plan se estudiaban con mayor profundidad. Este plan comprendía dos secciones, Mecánica y Química. Terminado los estudios, se realizaba un examen de carrera, superando éste se obtenía el diploma de Ingeniero Industrial. Los tres primeros cursos de este plan contemplaban las mismas materias que los tres cursos que se impartían en las Escuelas Profesionales. Los alumnos que superaban los tres cursos de la Escuela Profesional podían matricularse en el cuarto curso de la Escuela Central, si además superaban un examen de carrera se les otorgaba el título de Aspirante a Ingeniero Industrial.

El plan de estudios de la Escuela Central era el siguiente (Tablas 1 y 2):

CURSO	ASIGNATURA
1	Complemento de algebra, incluida la teoría general de ecuaciones
1	Elementos de geometría analítica y trigonometría esférica
1	Geometría descriptiva
1	Física general
1	Dibujo lineal y de adorno
1	Trabajos gráficos de geometría descriptiva
1	Lengua francesa
2	Geometría descriptiva, aplica. a las sombras, perspectiva gnomónica y topográfica
2	Física Industrial
2	Química general
2	Mecánica industrial
2	Dibujo topográfico
2	Copia de órganos de máquinas
2	Lengua francesa
2	Lengua inglesa

Tabla 1. Plan de Estudios (1º y 2º curso) Escuela Central 1855

3	Geometría descriptiva, aplicaciones al corte de piedras, maderas y hierro
3	Física Industrial
3	Mecánica industrial
3	Construcción de máquinas
3	<i>Dibujo, copia de órganos de máquinas y máquinas completas. Proyectos industriales</i>
3	Modelado de corte de piedras, maderas y hierros
3	Manipulaciones
4	Complementos de la geometría analítica y cálculos superiores
4	Mecánica racional o general
4	Mecánica industrial
4	Química industrial
4	Dibujo
4	<i>Proyectos correspondientes a las diversas asignaturas</i>
4	Trabajos de taller para los alumnos de mecánica
4	Trabajos de laboratorio para los de química
4	Lengua alemana
5	Análisis químico
5	Construcción de máquinas
5	Mineralogía y geología
5	Construcciones civiles aplicadas a la industria
5	Economía y legislación industrial
5	Dibujo
5	<i>Proyectos correspondientes a las diferentes asignaturas</i>
5	Trabajos de taller para los alumnos de mecánica
5	Trabajos de laboratorio para los alumnos de Química
5	Lengua alemana

Tabla 2. Plan de Estudios (3º, 4º y 5º curso) Escuela Central 1855

Vemos que en este plan aparece por primera vez el término proyectos, en tres asignaturas, una asignatura más común en el tercer curso relacionada con el dibujo de máquinas y posteriormente proyectos industriales. En cuarto curso y posteriormente en quinto curso, aparecen dos asignaturas referentes a proyectos correspondientes a distintas asignaturas.

2.1.3.- Ley de Instrucción Pública de 1857

La Ley de Instrucción Pública de septiembre de 1857 (conocida también como Ley Moyano) (LIP, septiembre 1857), reorganiza toda la enseñanza industrial,



en el Título II: De la segunda enseñanza que comprende primero: Los estudios generales y segundo: Los estudios de aplicación a las profesiones industriales, en su artículo 24 se menciona por primera vez palabra “Perito”, al establecer en dicho artículo que: *Terminados los estudios de aplicación correspondiente a la segunda enseñanza, los alumnos podrán recibir un certificado de Peritos en la carrera a que especialmente se hayan dedicado.* El Título III de dicha ley trata de las facultades y de las enseñanzas superior y profesional.

Con relación a la carrera de Ingenieros Industriales, establece las materias que deben de impartirse que serían (Tabla 3):

MATERIAS.
Álgebra, Geometría y Trigonometría.
Geometría analítica.
Cálculo diferencial e integral.
Mecánica analítica.
Geometría descriptiva y sus aplicaciones.
Estereotomía.
Física experimental.
Física industrial.
Mecánica industrial.
Química general.
Química industrial.
Análisis químico.
Mineralogía y Geología.
Construcción de máquinas.
Construcciones industriales.
Metalurgia y Docimasia.
Economía política con aplicación a la industria y Legislación industrial.
Dibujo y ejercicios gráficos.
<i>Trabajos prácticos y formación de proyectos.</i>

Tabla 3. Materias a impartir en Ingenieros Industriales 1857

Aparece el concepto de materia en el que se relacionan los trabajos prácticos con la formación en proyectos.

2.1.4.- Reglamento Escuela Central de Ingenieros Industriales de 1902

El 23 de septiembre de 1902 se publica en la Gaceta de Madrid (RD aprobatorio del reglamento para la Escuela Central, septiembre 1902) el Reglamento de la Escuela Central de Ingenieros Industriales, en su capítulo II hace referencia a la enseñanza que comprenderá el siguiente plan de estudios:

El plan de estudios era el siguiente (Tabla 4):



CURSO	ASIGNATURA
1	Análisis matemático hasta las aplicaciones geométricas del cálc. difer.
1	Geometría descriptiva
1	Física general con las aplicaciones del lumínico
1	Química general
1	Dibujo industrial de taller
1	Ejercicios sobre análisis matemático y cálculo
1	Trabajos gráficos de descriptiva
2	Cálculo integral y de variaciones mecánica nacional
2	Estereotomía, comprendiendo sombras, perspectiva, gnomónica y corte de piedras, maderas y hierros
2	Física industrial, primer curso, aplicaciones del calor
2	Análisis químico
2	Dibujo a la aguada, topográfico y de reproducción
2	Ejercicios de cálculos
2	Trabajos gráficos y prácticos de estereotomía
2	Manipulación de análisis químico
3	Mecánica industrial, estática gráfica e hidráulica
3	Física industrial, segundo curso, electricidad
3	Química industrial inorgánica con detalles de fabricación
3	Topografía y nociones de geodesia
3	Dibujo industrial de fabricación
3	Ensayos y experiencias referentes a las aplicaciones de la luz y del calor y a la mecánica industrial, alternando
3	Manipulaciones de química inorgánica
3	Prácticas de topografía, los días festivos
4	Física industrial, tercer curso, tecnología eléctrica
4	Mecánica aplicada a la construcción
4	Construcción de máquinas
4	Metalurgia
4	Química industrial orgánica con detalles de fabricación
4	Economía política y legislación industrial
4	<i>Dibujo de proyectos industriales</i>
4	Manipulaciones de metalurgia y química orgánica, alternando
4	Ensayos y experiencias de física industrial, segundo y tercer curso y de mecánica aplicada a la construcción, alternando
5	Tecnología mecánica
5	Arquitectura industrial y organización de talleres
5	Motores térmicos
5	Ferrocarriles
5	Tecnología química
5	<i>Dibujo de proyectos industriales</i>
5	Manipulaciones de tecnología química
5	Prácticas de tecnología mecánica y trabajos de taller de construcción de máquinas, alternando

Tabla 4. Plan de Estudios Escuela Central 1902.



En este plan vuelve a vincularse el dibujo dentro de los proyectos industriales, sin embargo, como veremos a continuación, los aspirantes a Ingeniero Industrial debían de superar dos ejercicios para los que se exigía un elevado nivel de conocimiento en la redacción de proyectos industriales.

2.1.4.1.- Ejercicios Fin de Carrera para la obtención del título de Ingeniero Industrial.

Los alumnos que hubiesen superado todas las asignaturas y sus correspondientes trabajos prácticos y aspirasen al título de Ingeniero Industrial, deberían además superar dos ejercicios consistentes en lo siguiente:

- El primer ejercicio consistiría en estudiar y trazar un anteproyecto de un aparato industrial, máquina, motor, construcción, fábrica o taller, elegido por el alumno de los tres obtenidos en un sorteo de 45. Se le concedían al alumno diez días para estudiar este anteproyecto y al día siguiente se le concedían doce horas para dibujar el croquis del proyecto con los datos que el dispusiese. A continuación, se reunía un tribunal formado por siete profesores y podían pedir al alumno que explicase los puntos dudosos. Posteriormente y por votación secreta se decidía si debía ser aprobado o no.
- El segundo ejercicio serviría para desarrollar durante cuarenta días el proyecto, cuyo estudio preliminar se había aprobado en el primer ejercicio, para lo cual, debería dibujar y redactar los documentos que debía comprender todo proyecto, y que eran: Los planos generales y los parciales, los pliegos con cortes y detalles de construcción. Memoria explicativa indicando los motivos de preferencia del sistema, método o procedimiento adoptado respecto a los demás conocidos, los cálculos mecánicos sobre el motor, transmisiones y máquinas operadoras, los de estabilidad de la construcción, los cálculos físicos que sean pertinentes y las combinaciones y reacciones químicas referentes a la fabricación o industria proyectada. Una vez concluido el tiempo, se reuniría el tribunal del primer ejercicio para juzgar los dibujos y oír la lectura de la memoria hecha por el alumno, contestando estas preguntas del tribunal. La calificación se obtenía igual que en el caso anterior.

2.1.5.- Reglamento de la Escuela Central de Ingenieros Industriales de Madrid y Barcelona de 1907

El 11 de agosto de 1907, se publica en la Gaceta de Madrid, un Real Decreto que lleva como adjunto el Reglamento de la Escuela Central de Ingenieros Industriales de Madrid y que regirá también la Escuela de Ingenieros Industriales de Barcelona (RD aprobatorio del adjunto Reglamento de la Escuela Central, agosto 1907).

2.1.5.1.- Pruebas de Ingreso y Número de cursos

Son dos puntos importantes los que se modifican del sistema actual, uno se refiere a las pruebas de ingreso y el otro al número de cursos que se deben de impartir. Con relación a este último, en la exposición de motivos se indica que las materias no se van a alterar, pero sí, el número de años en los que se imparten, que pasan de ser de cinco años a seis años. El cambio se argumenta en la necesidad de descargar de trabajo a los alumnos y en el número de alumnos que logra superar la carrera en los cinco años (no llegan a un 10%).

El plan de estudios quedaría de la siguiente forma (Tablas 5 y 6):

CURSO	ASIGNATURA
1	Análisis matemático hasta las aplicaciones geométricas del cálculo diferencial
1	Geometría descriptiva
1	Química inorgánica y orgánica
1	Dibujo artístico industrial y topográfico.
2	Cálculo integral y Mecánica racional
2	Estereotomía, comprendiendo sombras, perspectiva, gnómica, corte de piedras, maderas y hierros.
2	Física industrial I, comprendiendo ampliación de física general y aplicaciones de la luz
2	Dibujo de taller.
3	Teoría general de las máquinas, comprendiendo el estudio cinemático y dinámico de los mecanismos.
3	Física industrial II, comprendiendo aplicaciones del calor.
3	Topografía y nociones de geodesia.
3	Análisis químico.
3	Mecánica aplicada a la construcción, comprendiendo el conocimiento de los materiales de construcción, teoría de la resistencia de los mismos y estática gráfica.
3	<i>Dibujo de proyectos.</i>

Tabla 5. Plan de Estudios (1º, 2º y 3º curso) Escuela Central y de Barcelona 1907



4	Química industrial inorgánica.
4	Física industrial III, electricidad.
4	Metalúrgica general y siderurgia.
4	Teoría especial de las máquinas I, comprendiendo hidráulica y las máquinas motrices hidráulicas.
4	<i>Dibujo de proyectos.</i>
5	Teoría especial de las máquinas II, comprendiendo termodinámica y máquinas térmicas.
5	Química industrial orgánica.
5	Física industrial IV, tecnología eléctrica.
5	Construcciones y arquitectura industrial
5	<i>Dibujo de proyectos.</i>
6	Tintorería y artes cerámicas.
6	Tecnología mecánica.
6	Ferrocarriles.
6	Construcciones de máquinas.
6	Economía política, legislación industrial y estadística.
6	<i>Dibujo de proyectos.</i>

Tabla 6. Plan de Estudios (4º, 5º y 6º curso) Escuela Central y de Barcelona 1907

Esta reforma del plan de estudios, como se expone en su argumentación, no se modifican las materias, pero sí su desarrollo temporal, con relación a dibujo de proyectos, se duplican las asignaturas, y se reparten entre los cursos tercero, cuarto, quinto y sexto. Las exigencias para obtener el título de Ingeniero Industrial seguían siendo las mismas que en el plan anterior.

2.1.6.- Denominación de las Escuelas destinadas a las Enseñanzas Técnicas, Artística e Industrial de 1915

En 1915 se publica un R.D. de fecha 18 de agosto, en la Gaceta del 24 de agosto (RD disponiendo que las Escuelas destinadas a la enseñanza técnica, agosto 1915), en su artículo 1 decreta lo siguiente: *Las Escuelas destinadas a la enseñanza técnica, artística e industrial se denominarán:*

Primero: Escuelas para las enseñanzas artístico-industriales.

Segundo: Escuelas para las enseñanzas técnico-industriales.

Tercero: Escuelas para las enseñanzas profesionales.

En las Escuelas de artes e industrias del tercer grupo, se impartirá, además de las enseñanzas técnico-industriales que se cursan en las Escuelas del segundo grupo, las enseñanzas profesionales que suponen un orden sistemático de conocimientos teóricos y enseñanzas prácticas suficientes para el ejercicio de algunas profesiones.

En estas Escuelas podrán cursarse entre otros, los estudios de Peritos mecánicos, electricistas y químicos. Las asignaturas de estas enseñanzas serán:

PERITOS MECÁNICOS: Aritmética y geometría prácticas. Nociones de ciencias físicas, químicas y naturales. Aritmética y álgebra. Geometría, trigonometría y topografía. Ampliación de matemáticas. Geometría descriptiva. Física general. Termotecnia. Mecánica general. Mecánica aplicada. Mecanismos y máquinas herramientas. Motores. Química general. Geografía industrial. Economía y legislación industrial. Idioma francés. *Dibujo geométrico, industrial e interpretación gráfica de proyectos.*

PERITOS ELECTRICISTAS: Aritmética y geometría prácticas. Nociones de ciencias físicas, químicas y naturales. Aritmética y álgebra. Geometría, trigonometría y topografía. Ampliación de matemáticas. Geometría descriptiva. Física general. Termotecnia. Motores. Química general. Mecánica general. Magnetismo y electricidad. Electroquímica. Electrotecnia. Geografía industrial, economía y legislación industrial. Idioma francés. *Dibujo geométrico, industrial e interpretación gráfica de proyectos.*

PERITOS QUÍMICOS: Aritmética y geometría prácticas. Nociones de ciencias físicas, químicas y naturales. Aritmética y álgebra. Geometría, trigonometría y topografía. Mecánica general. Física general. Termotecnia. Magnetismo y electricidad. Química general. Química industrial inorgánica. Metalurgia. Electroquímica. Geografía industrial. Economía y legislación industrial. Idioma francés. Dibujo geométrico e industrial.

Aparecen en estas enseñanzas la palabra proyectos, como en el caso de los Ingenieros Industriales ligada al dibujo, excepto en el caso de los Peritos Químicos, que no aparece la palabra proyectos.

2.1.7.- Reglamento de las Escuelas de Ingenieros Industriales (Madrid, Barcelona y Bilbao) de 1926

El 19 de octubre de 1926 se publica un Real Decreto del Ministerio de Trabajo, Comercio e Industria por el que se establece el nuevo Reglamento de las Escuelas de Ingenieros Industriales, este nuevo reglamento servirá para las Escuelas existentes de Madrid, Barcelona y Bilbao (RD aprobando el Reglamento provisional, octubre 1926).



2.1.7.1.- Distribución de las Enseñanzas en Periodos

Las enseñanzas de este nuevo Reglamento se distribuirían en seis cursos que comprenderían tres períodos, un primer período de preparación científica que comprendería los dos primeros cursos, un segundo período de estudios técnicos que abarcaría los tres cursos siguientes y un tercer período de asignaturas especializadas que se impartirán en el último curso. Este tercer período tenía como objeto familiarizar al alumno con las aplicaciones de los conocimientos técnicos ya adquiridos en industrias concretamente definidas elegidas por él, eligiendo el grupo de asignaturas correspondientes a industrias especializadas en las que desease ejercitarse para hacer las citadas aplicaciones.

2.1.7.2.- Elaboración de Proyectos

Los alumnos deberían redactar un proyecto por cada una de las asignaturas siguientes:

- Aplicaciones del calor.
- Química inorgánica.
- Química orgánica.
- Hidráulica.
- Motores térmicos.
- Construcciones industriales.
- Metalurgia.
- Electrotecnia.

Los alumnos del último período desarrollarían también un proyecto por cada una de las asignaturas del grupo que eligiesen.

2.1.7.3.- Ejercicio de Reválida

El ejercicio de reválida tenía por fin enseñar al alumno la forma en que debe de estudiarse, redactarse y desarrollarse el proyecto completo de la instalación de una determinada industria o de la construcción de una obra, máquina, aparato, etc. y para realizarlo, el alumno podría elegir libremente el enunciado del proyecto que desarrollaría de entre los tres sacados a la suerte.

El plan de estudios sería el siguiente (Tablas 7, 8, 9, 10 y 11):

PRIMER PERIODO-PREPARACIÓN CIENTÍFICA

CURSO	ASIGNATURA
1	Geometría analítica y monografía.
1	Geometría descriptiva y sus aplicaciones.
1	Análisis algebraico o infinitesimal.
1	Química general.
1	Dibujo artístico industrial.
2	Ampliación de física general, comprendiendo la termodinámica y aplicaciones de la luz.
2	Análisis químico general y especial.
2	Mecánica racional.
2	Físico-química.
2	Topografía.
2	Dibujo de taller.

Tabla 7. Cursos primero y segundo, primer periodo, plan de estudios 1926

SEGUNDO PERIODO-ESTUDIOS TÉCNICOS

CURSO	ASIGNATURA
3	Aplicaciones industriales del calor.
3	Mecánica aplicada a la construcción (Resistencia de materiales y cálculo de elementos y máquinas).
3	Elementos de máquinas mecanismos.
3	Química industrial (inorgánica y orgánica).
3	Hidráulica y máquinas hidráulicas.
3	<i>Proyectos.</i>
4	Conocimiento y ensayo de materiales y construcciones industriales.
4	Motores térmicos.
4	Metalurgia general.
4	Operaciones mecánicas generales en la industria y máquinas herramientas
4	Electrotecnia (primer curso).
4	<i>Proyectos.</i>
5	Siderurgia.
5	Transporte en general y ferrocarriles.
5	Economía política y legislación industrial.
5	Electrotecnia (segundo curso).
5	Organización y contabilidad de empresas industriales.
5	<i>Proyectos.</i>

Tabla 8. Cursos tercero, cuarto y quinto, segundo periodo, plan de estudios 1926



TERCER PERIODO-ASIGNATURAS ESPECIALIZADAS

CURSO	GRUPO	ASIGNATURA
6	A	Construcciones mecánicas (obtención de hierros perfilados, fabricación y ajuste de órganos de máquinas, calderería, construcciones metálicas, carpintería mecánica, etc.).
6	A	Industrias de hilados y tejidos.
6	A	Industrias de la trituración y molienda (medio curso).
6	A	Ampliación del estudio de automóviles y aviones (medio curso).
6	A	Arquitectura naval.
6	A	<i>Dibujo de proyectos.</i>

Tabla 9. Curso sexto grupo A, tercer periodo, plan de estudios 1926

CURSO	GRUPO	ASIGNATURA
6	B	Industrias del azúcar y la fermentación.
6	B	Industrias de la sílice (cerámica, vidriería, cementos, etc.).
6	B	Industrias de los colores y tintorería (medio curso).
6	B	Industrias de la destilación de combustibles y derivados, etc. (medio curso).
6	B	Electroquímica y electrometalurgia.
6	B	Ampliación del estudio de las industrias siderúrgicas.
6	B	<i>Dibujo de proyectos.</i>

Tabla 10. Curso sexto grupo B, tercer periodo, plan de estudios 1926

CURSO	GRUPO	ASIGNATURA
6	C	Ampliación del estudio de la construcción y explotación de distribuciones de energía eléctrica.
6	C	Construcción de máquinas, aparatos y material eléctrico.
6	C	Telegrafía, telefonía y comunicaciones eléctricas en general.
6	C	Ampliación del estudio de la tracción eléctrica.
6	C	Electroquímica y electrometalurgia.
6	C	<i>Dibujo de proyectos.</i>

Tabla 11. Curso sexto grupo C, tercer periodo, plan de estudios 1926

En este plan de estudios en el segundo período relativo a los estudios técnicos se encuentran tres asignaturas de Proyectos en los curso tercero, cuarto y

quinto, en el sexto curso del período correspondiente a las asignaturas especializadas, se contempla la asignatura de Dibujo de Proyectos.

2.1.8.- Modificación del Plan de Estudios de Ingenieros Industriales de 1931

En la Gaceta de Madrid del 20 de septiembre de 1931, se publica una Orden (O disponiendo para el próximo curso, septiembre 1931), en la que se indica:

“Vistas las dificultades que para su desarrollo ha presentado en la práctica el plan de estudios de las Escuelas de Ingenieros Industriales de España, por la Real Orden de 15 de Noviembre de 1927.

Este Ministerio, para obviarlas, ha dispuesto que desde el próximo curso de 1931-32 rija modificado en la siguiente forma”.

Este nuevo plan de estudios sería (Tablas 12 y 13):

CURSO	ASIGNATURA
1	Análisis algebraico con cálculo diferencial, comprendiendo geometría analítica y monografía.
1	Geometría descriptiva y sus aplicaciones.
1	Química general
1	Dibujo artístico industrial.
2	Ampliación de física general, comprendiendo la termodinámica y las aplicaciones de la luz.
2	Análisis químico.
2	Cálculo integral y mecánica racional.
2	Topografía y geodesia.
2	Dibujo de taller.
3	Aplicaciones industriales del calor.
3	Mecánica aplicada a la construcción (resistencia de materiales y cálculo de elementos de máquinas).
3	Elementos de máquinas y mecanismos.
3	Química industrial inorgánica.
3	<i>Proyectos.</i>
4	Arquitectura industrial.
4	Hidráulica y máquinas hidráulicas.
4	Electrotecnia, primer curso.
4	Química industrial orgánica.
4	Sanidad, higiene y psicotecnia industriales.
4	<i>Proyectos.</i>

Tabla 12. Plan de Estudios (1º, 2º, 3º y 4º curso) Ingenieros Industriales 1931



5	Motores térmicos.
5	Electrotecnia, segundo curso.
5	Metalurgia general y siderurgia.
5	Operaciones mecánicas generales de la industria con cálculo de elementos y construcción de máquinas y máquinas herramientas.
5	Proyectos.
6	Tecnología mecánica.
6	Transportes en general y ferrocarriles.
6	Economía política y legislación industrial.
6	Organización y contabilidad de empresas.
6	Estudio de dos temas industriales.
6	Proyectos.

Tabla 13. Plan de Estudios (5º y 6º curso) Ingenieros Industriales 1931

Este plan de estudios contempla sólo una asignatura relacionada con Proyectos, que se imparte en los cursos tercero, cuarto, quinto y sexto.

2.1.9.- Nuevo Plan de Estudios en las Escuelas Industriales de Madrid y de Gijón de 1941

Se publica por parte del Ministerio de Educación Nacional en el BOE del 6 de abril de 1941, una "orden de 31 de marzo de 1941 por la que se implanta, por vía de ensayo, un nuevo plan de estudios en las Escuelas Industriales (hoy Superiores del Trabajo) de Madrid y Gijón" (O Implantación por vía de ensayo, abril 1941).

El plan que se inicia por vía de ensayo, será el siguiente (Tablas 14 y 15):

FORMACIÓN DE PERITO INDUSTRIAL, EN SUS ESPECIALIDADES DE QUÍMICO, MECÁNICO Y ELECTRICISTA

CURSO	ESPECIALIDAD	ASIGNATURA
1	TODAS	Ampliación de matemáticas y sus prácticas
1	TODAS	Topografía y construcción
1	TODAS	Dibujo industrial (primero)
1	TODAS	Economía y geografía industrial
1	TODAS	Higiene industrial

Tabla 14. Plan de Estudios (1º curso) Perito Industrial 1941

CURSO	ESPECIALIDAD	ASIGNATURA
1	ELECTRICIDAD	Magnetismo, electricidad y medidas eléctricas
1	ELECTRICIDAD	Laboratorio y talleres de electricidad
1	ELECTRICIDAD	Taller mecánico (máquinas-herramientas)
1	MECÁNICA	Ampliación de mecánica y sus prácticas
1	MECÁNICA	Conocimiento de materiales industriales
1	MECÁNICA	Taller mecánico (máquinas- herramientas)
1	QUÍMICA	Química inorgánica
1	QUÍMICA	Análisis químico y prácticas de química inorgánica
2	TODAS	Termotecnia y termodinámica
2	TODAS	Legislación industrial
2	ELEC-MECÁ	Hidráulica y máquinas hidráulicas
2	ELEC-MECÁ	Dibujo industrial (segundo)
2	ELEC-MECÁ	Máquinas eléctricas
2	ELECTRICIDAD	Electrotecnia general f
2	ELECTRICIDAD	Laboratorio y talleres de electricidad
2	MECÁNICA	Resistencia de materiales
2	MECÁNICA	Mecanismos y máquinas herramientas
2	MECÁNICA	Talleres mecánicos
2	QUÍMICA	Química orgánica
2	QUÍMICA	Análisis químico (2) y prácticas de química orgánica
2	QUÍMICA	Tecnología química (1). Elementos de la producción
2	QUÍMICA	Prácticas de laboratorio y visitas a fábricas
3	TODAS	Contabilidad y organización de talleres y empresas industriales
3	ELEC-MECÁ	Motores térmicos
3	ELEC-MECÁ	<i>Dibujo y Oficina Técnica</i>
3	ELECTRICIDAD	Electrotecnia especial
3	ELECTRICIDAD	Conocimiento de materiales (C.M.) empleados en la industria eléctrica
3	ELECTRICIDAD	Talleres de electricidad (construcción de máquinas.)
3	MECÁNICA	Mecánica aplicada a la construcción de máquinas
3	MECÁNICA	Construcciones metálicas y de hormigón
3	MECÁNICA	Automovilismo y aviación
3	MECÁNICA	Tecnología y talleres (motores y máquinas)
3	QUÍMICA	Nociones de química física
3	QUÍMICA	Electrotecnia
3	QUÍMICA	Tecnología química (segundo). Metalurgia, siderurgia e industrias químicas
3	QUÍMICA	Nociones de biología e industrias de la fermentación
3	QUÍMICA	C. M. empleados en la industria química
3	QUÍMICA	Prácticas de química

Tabla 15. Plan de estudios (1º, 2º y 3º curso) Perito Industrial 1941

En el plan de estudios que se inicia por vía de ensayo para la formación de Perito Industrial, aparece en tercer curso una asignatura de Dibujo y Oficina Téc-



nica, siendo la primera vez que aparece este concepto dentro de los planes de estudios en la Ingeniería Industrial.

2.1.10.- Reorganización de las Escuelas de Peritos Industriales en 1942

En el BOE de 7 de agosto de 1942 se publica un *decreto de fecha 22 de julio de 1942, por el que se reorganizan las Escuelas de Peritos Industriales* (D reorganización Escuelas de Peritos, agosto 1942).

En dichas Escuelas se podrían formar Peritos en las distintas especialidades de electricista, mecánico, químico, textil y en aquellas otras que en lo sucesivo pudieran establecerse. Las Escuelas dependerán directamente del Ministerio de Educación Nacional. La carrera de Peritos constará de tres años de estudios.

Las asignaturas comunes a todas las especialidades versarán sobre las materias siguientes: Ampliación de Matemáticas. Termotecnia. Topografía. Construcción. Economía Política. Derecho Industrial y del Trabajo. Dibujo Industrial. Higiene Industrial y Prevención de Accidentes y Contabilidad y Organización de Talleres.

Las asignaturas correspondientes a cada especialidad se referirán a las materias que a continuación se indican:

Perito Mecánico.- Mecánica general. Mecánica aplicada. Elementos de hidráulica y máquinas hidráulicas. Elementos de termodinámica y motores térmicos. Mecanismos y máquinas herramientas. Electricidad industrial. Conocimientos de materiales industriales. *Dibujo y Oficina Técnica* y talleres mecánicos.

Perito Electricista.- Magnetismo y electricidad. Conocimiento de materiales empleados en la industria eléctrica. Elementos de hidráulica y Máquinas hidráulicas. Elementos de termodinámica y motores térmicos. Mecánica industrial. Electrotecnia general. Electrotecnia especial. *Dibujo y Oficina Técnica*. Taller mecánico y talleres de electricidad.

Perito Químico.- Electricidad industrial. Mecánica industrial. Ampliación de química. Tecnología química. Análisis químico. Conocimientos de metalurgia y siderurgia. Electroquímica y electrometalurgia. Industrias de química inorgánica. Industrias de química orgánica.

En este caso se amplía la asignatura Dibujo y Oficina Técnica las especialidades de Perito Mecánico y Perito Electricista.

2.1.11.- Reforma de los Estudios de la carrera de Ingeniero Industrial de 1948

El 12 de junio de 1948, el Ministerio de Educación Nacional publica en el BOE un decreto sobre la reforma de los estudios de la carrera de Ingeniero Industrial (D sobre reforma de estudios, junio 1948). La organización en los tres centros seguiría siendo la misma.

Plan de estudios:

Además de las disciplinas de formación religiosa, política, educación física e idiomas, el plan de estudios quedaría de la siguiente forma (Tablas 16, 17 y 18):

CURSO	ASIGNATURAS
1	Curso de extensión de cálculo.
1	Geometría descriptiva y sus aplicaciones.
1	Curso de extensión de química inorgánica y orgánica con prácticas de análisis y reconocimientos.
1	Topografía, geodesia y astronomía.
1	Dibujo técnico y descriptivo de materiales.
1	Prácticas de todas las asignaturas y de taller.
2	Mecánica fundamental.
2	Física teórica y experimental con aplicaciones de la óptica.
2	Termodinámica y fisicoquímica con aplicaciones a la tecnología química.
2	Aplicaciones industriales del calor.
2	Dibujos.
2	Prácticas de todas las asignaturas y de taller.
3	Elasticidad y resistencia de materiales.
3	Teoría general y elementos de máquinas.
3	Estadística fundamental y aplicada.
3	Metalurgia general y siderurgia.
3	Electrotecnia general (primer curso).
3	Prácticas de todas las asignaturas.
3	<i>Dibujo de proyectos.</i>

Tabla 16. Plan de Estudios (1º, 2º y 3º curso) Ingeniero Industrial 1948



CURSO	GRUPO	ASIGNATURA
4	1	Hidráulica y máquinas hidráulicas.
4	1	Motores térmicos.
4	1	Tecnología y talleres mecánicos.
4	1	Construcciones metálicas y de hormigón armado.
4	1	Cálculo, construcción y ensayo de máquinas.
4	1	Electrotecnia general (segundo curso).
4	1	Prácticas de todas las asignaturas.
4	1	<i>Proyectos Especiales.</i>
4	2	Hidráulica y máquinas hidráulicas.
4	2	Motores térmicos.
4	2	Tecnología y talleres mecánicos.
4	2	Química fundamental.
4	2	Tecnología química general.
4	2	Electrotecnia general (segundo curso).
4	2	Prácticas de todas las asignaturas.
4	2	<i>Proyectos Especiales.</i>
4	3	Hidráulica y máquinas hidráulicas.
4	3	Motores térmicos.
4	3	Tecnología y talleres mecánicos.
4	3	Cálculo construcción y ensayo de máquinas eléctricas.
4	3	Electrónica y alta frecuencia (primer curso).
4	3	Electrometría y ensayos de materiales eléctricos.
4	3	Prácticas de todas las asignaturas.
4	3	<i>Proyectos Especiales.</i>
4	4	Hidráulica y máquinas hidráulicas.
4	4	Motores térmicos.
4	4	Tecnología y talleres mecánicos.
4	4	Cálculo, construcción y ensayo de máquinas.
4	4	Ampliación de química orgánica.
4	4	Electrotecnia general (segundo curso).
4	4	Prácticas de todas las asignaturas.
4	4	<i>Proyectos Especiales.</i>

Tabla 17. Plan de Estudios (4º curso) Ingeniero Industrial 1948

CURSO	GRUPO	ASIGNATURA
5	1	Construcción y arquitectura industrial
5	1	Transportes en general.
5	1	Tecnologías especiales (artes gráficas, etc.).
5	1	Ferrocarriles.
5	1	Automóviles, construcción y utilización.
5	1	Obras y construcciones especiales.
5	1	Prácticas de todas las asignaturas.
5	1	<i>Proyectos.</i>
5	2	Construcción y arquitectura industrial
5	2	Tecnología química especial (inorgánicas).
5	2	Tecnología química especial (orgánicas).
5	2	Metalurgias especiales.
5	2	Análisis químicos especiales e instrumentales.
5	2	Electroquímica.
5	2	Prácticas de todas las asignaturas.
5	2	<i>Proyectos.</i>
5	3	Construcción y arquitectura industrial
5	3	Centrales, líneas y redes.
5	3	Tracción eléctrica y aplicaciones especiales de los electro- motores.
5	3	Electrónica y alta frecuencia (segundo curso).
5	3	Cinematografía y electroacústica.
5	3	Prácticas de todas las asignaturas.
5	3	<i>Proyectos.</i>
5	4	Construcción y arquitectura industrial
5	4	Tecnología mecánica textil.
5	4	Tecnología química textil.
5	4	Materias colorantes.
5	4	Fibras artificiales.
5	4	Dibujo artístico y tejidos.
5	4	Prácticas de todas las asignaturas.
5	4	<i>Proyectos.</i>
CURSO	ASIGNATURA	
6	Economía política, teórica y aplicada.	
6	Sanidad e higiene industrial y psicotecnia laboral.	
6	Estructura económica de España en relación con la mundial.	
6	Economía de las empresas y de la producción.	
6	Organización y contabilidad de empresas industriales.	
6	Derecho administrativo, industrial y del trabajo.	
6	Ejercicios de fin de carrera.	

Tabla 18. Plan de Estudios (5º y 6º curso) Ingeniero Industrial 1948



En este caso vuelve a aparecer la asignatura Dibujo de Proyectos en tercer curso y aparece una nueva asignatura denominada Proyectos Especiales en cuarto curso y se mantiene la asignatura de Proyectos de quinto curso.

2.1.11.1.- Ejercicios para la obtención del Título de Ingeniero Industrial

Los ejercicios para la obtención del título de Ingeniero Industrial se realizarían en el sexto curso y comprenderían las materias siguientes:

- Prácticas en fábricas, talleres u oficinas de proyectos.
- Desarrollo de un proyecto completo de la especialidad elegida, a base del correspondiente anteproyecto previamente aprobado.

2.1.12.- Reglamento de las Escuelas de Ingenieros Industriales de 1950

El 15 de abril de 1950, se publica en el BOE, la orden de 4 de marzo de 1950 por la que se aprueba el reglamento de las Escuelas de Ingenieros Industriales (O por la que se aprueba el Reglamento, abril 1950).

La organización de la enseñanza es igual que en el plan anterior y el plan de estudios sería el siguiente (Tablas 19, 20 y 21):

CURSO	ASIGNATURA
1	Curso de extensión de cálculo.
1	Geometría descriptiva y sus aplicaciones.
1	Curso de extensión de química inorgánica y orgánica, con prácticas de análisis y reconocimiento.
1	Topografía, geodesia y astronomía.
1	Dibujo técnico y descripción de materiales.
1	Prácticas de todas las asignaturas y de taller.
2	Mecánica fundamental.
2	Física teórica y experimental, con aplicaciones de la óptica.
2	Termodinámica y fisicoquímica con aplicaciones a la tecnología química.
2	Aplicaciones industriales del calor, técnica frigorífica.
2	Dibujo.
2	Prácticas de todas las asignaturas y de taller.
3	Elasticidad y resistencia de materiales.
3	Teoría general y elementos de máquinas.
3	Estadística fundamental.
3	Metalurgia general y siderurgia.
3	Electrotecnia general (primer curso).
3	Prácticas de todas las asignaturas.
3	<i>Dibujo de proyectos.</i>

Tabla 19. Plan de Estudios (cursos 1º, 2º y 3º) Ingeniero Industrial 1950

CURSO	GRUPO	ASIGNATURA
4	1	Hidráulica y máquinas hidráulicas.
4	1	Motores térmicos.
4	1	Tecnología mecánica, Tecnología general textil.
4	1	Construcciones metálicas y de hormigón armado.
4	1	Cálculo, construcción y ensayo de máquinas.
4	1	Electrotecnia general (segundo curso).
4	1	Prácticas de todas las asignaturas.
4	1	<i>Proyectos especiales.</i>
4	2	Hidráulica y máquinas hidráulicas.
4	2	Motores térmicos.
4	2	Tecnología mecánica, tecnología general textil.
4	2	Química fundamental.
4	2	Tecnología técnica general.
4	2	Electrotecnia general (segundo curso).
4	2	Prácticas de todas las asignaturas.
4	2	<i>Proyectos especiales.</i>
4	3	Hidráulica y máquinas hidráulicas.
4	3	Motores térmicos.
4	3	Tecnología mecánica, tecnología general textil.
4	3	Cálculo construcción y ensayo de máquinas eléctricas.
4	3	Electrónica y alta frecuencia (primer curso).
4	3	Electrometría y ensayos de materiales eléctricos.
4	3	Prácticas de todas las asignaturas.
4	3	<i>Proyectos especiales.</i>
4	4	Hidráulica y máquinas hidráulicas.
4	4	Motores térmicos.
4	4	Tecnología mecánica, tecnología general textil.
4	4	Cálculo, construcción y ensayo de máquinas.
4	4	Ampliación de química orgánica. Materias colorantes.
4	4	Electrotecnia general (segundo curso).
4	4	Prácticas de todas las asignaturas.
4	4	<i>Proyectos especiales.</i>

Tabla 20. Plan de Estudios (curso 4º) Ingeniero Industrial 1950



CURSO	GRUPO	ASIGNATURA
5	1	Construcción y arquitectura industrial
5	1	Economía política, teórica y aplicada.
5	1	Transportes en general.
5	1	Tecnologías especiales (artes gráficas, etc.).
5	1	Ferrocarriles.
5	1	Automóviles, construcción y utilización.
5	1	Obras y construcciones especiales.
5	1	Prácticas de todas las asignaturas.
5	1	<i>Proyectos.</i>
5	2	Construcción y arquitectura industrial
5	2	Economía política, teórica y aplicada.
5	2	Transportes en general.
5	2	Tecnología química especial (inorgánicas).
5	2	Tecnología química especial (orgánicas).
5	2	Metalurgias especiales.
5	2	Análisis químicos especiales e instrumentales.
5	2	Electroquímica.
5	2	Prácticas de todas las asignaturas.
5	2	<i>Proyectos.</i>
5	3	Construcción y arquitectura industrial
5	3	Economía política, teórica y aplicada.
5	3	Transportes en general.
5	3	Centrales, líneas y redes.
5	3	Tracción eléc. y aplicaciones especi. de los electromotores.
5	3	Electrónica y alta frecuencia (segundo curso).
5	3	Cinematografía y electroacústica.
5	3	Prácticas de todas las asignaturas.
5	3	<i>Proyectos.</i>
5	4	Construcción y arquitectura industrial
5	4	Economía política, teórica y aplicada.
5	4	Transportes en general.
5	4	Tecnología mecánica textil.
5	4	Tecnología química textil.
5	4	Materias colorantes.
5	4	Fibras artificiales.
5	4	Teoría y dibujo de tejidos.
5	4	Prácticas de todas las asignaturas.
5	4	<i>Proyectos.</i>
CURSO	ASIGNATURA	
6	Extensión de estadística teórica y aplicada.	
6	Sanidad e higiene industrial y psicotecnia laboral.	
6	Estructura económica de España en relación con la mundial.	
6	Economía de las empresas y de la producción.	
6	Organización y contabilidad de empresas industriales.	
6	Derecho administrativo, industrial y del trabajo.	
6	Prácticas	
6	Ejercicios de fin de carrera.	

Tabla 21. Plan de Estudios (cursos 1º, 2º y 3º) Ingeniero Industrial 1950



Situación similar con el plan de estudios anterior, en lo referente al tratamiento de Proyectos, pero en este plan se exigía a los alumnos una serie de trabajos relacionados con los Proyectos como son:

- Los alumnos de cuarto curso deberían desarrollar en la clase de proyectos tres estudios de máquinas, motores, instalaciones o aspectos parciales de un proceso industrial, uno relativo al grupo de intensificación elegido.
- Los alumnos de quinto curso tendrían que elaborar dos anteproyectos de ingeniería, desarrollando el proyecto completo en la parte señalada por el profesor de proyectos.

2.1.13.- Ordenación de las Enseñanzas Técnicas en 1957.

Se publica en el BOE de 22 de julio la *Ley de 20 de julio de 1957 sobre ordenación de las enseñanzas técnicas* (L sobre ordenación de las enseñanzas, julio 1957). La ley establece dos grados escalonados en la enseñanza técnica que se impartirán en Escuelas distintas.

- Escuelas Técnicas de Grado Medio: Las Escuelas Técnicas de Grado Medio proporcionan formación especializada de carácter eminentemente práctico y otorgan el título de Perito con mención a la especialidad.
- Escuelas Técnicas Superiores: Las Escuelas Técnicas Superiores proporcionan una extensa y sólida base científica, seguida de la especialización tecnológica precisa para el pleno ejercicio profesional que corresponde a la función de Ingeniero. Concluidos este título se puede seguir una formación investigadora para obtener el título de doctor.
- Ministerio de Educación Nacional: Todas las Escuelas existentes pasan a depender del Ministerio de Educación Nacional, el acceso a estas Escuelas se efectuarán mediante cursos selectivos. Se crea la Junta de Enseñanza Técnica, para establecer un enlace entre todas las Escuelas.
- Títulos de Ingeniero y Perito: El Ministerio de Educación Nacional otorgará los títulos de Ingeniero y Perito después de cursar los estudios correspondiente y superar pruebas de aptitud ante tribunales estatales.



- Duración de los Estudios: El periodo mínimo de escolaridad en la Escuelas Superiores será de cuatro años, pudiéndose aumentar a cinco en caso necesario, reduciéndose la escolaridad en un año a los alumnos que estén en posesión del título de Perito, como complemento del último curso el alumno efectuará un proyecto fin de carrera. Las Escuelas Técnicas de Grado Medio organizarán sus enseñanzas en tres cursos, como complemento al último curso, el alumno deberá efectuar un trabajo de conjunto sobre las materias características de su especialidad.

2.1.14.- Planes de Estudios en las Escuelas Técnicas Superiores de 1962

El 19 de mayo de 1962 publica en el BOE el Ministerio de Educación Nacional una *orden de 9 de mayo de 1962 por la que se aprueban los planes de estudios en las Escuelas Técnicas Superiores* (O por la que se aprueban los planes de estudio, mayo 1962).

El plan de estudios de los Ingenieros Industriales en la especialidad de Mecánica sería (Tablas 22 y 23):

CURSO	ASIGNATURA
Iniciación	Matemáticas
Iniciación	Física.
Iniciación	Dibujo.
Iniciación	Ampliación de química.
Iniciación	Preconocimiento de materiales.
1	Ampliación de matemáticas.
1	Geometría descriptiva.
1	Física teórica, primer curso.
1	Mecánica fundamental, primer curso.
1	Fisicoquímica y termodinámica, primer curso.
1	Complementos de química.
1	Topografía, geodesia y astronomía.
1	Dibujo técnico, primer curso.

Tabla 22. Plan de Estudios (Iniciación y 1º curso) Escuelas Técnicas Superiores 1962

CURSO	ASIGNATURA	
2	Estadística fundamental.	
2	Física teórica, segundo curso	
2	Mecánica fundamental, segundo curso.	
2	Fisicoquímica y termodinámica, primer curso.	
2	Química analítica.	
2	Electrotecnia general, primer curso (circuitos)	
2	Dibujo técnico, segundo curso.	
2	ASIGNATURAS SECCIÓN DE MECÁNICA	
2	Metalurgia física.	
3	Elasticidad y resistencia de materiales	
3	Cinemática y dinámica de máquinas.	
3	Electrotecnia general, segundo curso (máquinas).	
3	Termotecnia.	
3	SECCIÓN DE MECÁNICA	
3	Tecnología química general.	
3	Mecánica de fluidos.	
3	Metalotecnia.	
3	Electrónica.	
CURSO	SECCIÓN	ASIGNATURA
4	Mecánica	Teoría, estructura e instituciones económicas.
4	Mecánica	Seguridad industrial y psicotecnia.
4	Mecánica	Motores térmicos.
4	Mecánica	<i>Oficina técnica, primer curso.</i>
4	Mecánica	Metrología y metrotecnica.
4	Mecánica	Ampliación de elasticidad. Plasticidad.
CURSO	SECCIÓN	ASIGNATURA
5	Mecánica	Administración de empresas y dirección de la producción.
5	Mecánica	Construcción y arquitectura industrial.
5	Mecánica	<i>Oficina técnica, segundo curso.</i>
5	Mecánica	Transportes en general.

Tabla 23. Plan de Estudios (2º, 3º, 4º y 5º curso) Escuelas Técnicas Superiores 1962

En este nuevo plan, desaparece la palabra Proyectos y aparece la expresión Oficina Técnica, que ya aparecía contemplada en anteriores planes de estudio.

2.1.15.- Reordenación de las Enseñanzas Técnicas en 1964.

La ley de 29 de abril de 1964, sobre reordenación de las Enseñanzas Técnicas, establece la duración de los estudios en ambas Escuelas, siendo en las Escuelas Técnicas de Grado Medio de tres años y de cinco en las Escuelas Técnicas de Grado Superior (L. sobre reordenación de las Enseñanzas, mayo 1964). Los títulos de Grado Medio serán de Ingeniero en la especialidad técnica que hayan cursado.



La orden de 20 de agosto establecía las enseñanzas de los dos primeros cursos de las Escuelas Técnicas de Grado Superior (O. por la que se establecen las enseñanzas, agosto 1964).

2.1.15.1.- Plan de Estudios de los cursos tercero, cuarto y quinto

La orden de 29 de mayo de 1965 (O. por la que se establecen las enseñanzas, junio 1965), establecía las enseñanzas de los cursos tercero, cuarto y quinto de las Escuelas Técnicas Superiores, en el caso de los Ingenieros Industriales en la especialidad Mecánica, serían: (Tabla 24):

CURSO	ESPECIALIDAD	ASIGNATURA
3	Mecánica	Estadística teórica y aplicada.
3	Mecánica	Elasticidad y resistencia de materiales.
3	Mecánica	Termodinámica y Físicoquímica.
3	Mecánica	Mecánica de fluidos.
3	Mecánica	Electrotecnia general.
3	Mecánica	Cinemática y dinámica de máquinas.
4	Mecánica	Teoría e instituciones económicas.
4	Mecánica	Tecnología mecánica.
4	Mecánica	Electrónica general.
4	Mecánica	Estructuras resistentes.
4	Mecánica	Cálculo, construcción y ensayo de máquinas.
4	Mecánica	Metalurgia general (cuatrimestral)
4	Mecánica	Termotecnia (cuatrimestral)
5	Mecánica	<i>Proyectos.</i>
5	Mecánica	Administración de empresas (cuatrimestral)
5	Mecánica	Construcciones industriales.
5	Mecánica	Transportes (cuatrimestral)
5	Mecánica	Motores térmicos.
5	Mecánica	Máquinas hidráulicas y de fluidos.
5	Mecánica	Regulación y servomecanismos (cuatrimestral)
5	Mecánica	Ingeniería Industrial de complejos urbanos (cuatrimestral) (optativa)
5	Mecánica	Seguridad y psicología industrial (cuatrimestral) (optativa)
5	Mecánica	Ferrocarriles (cuatrimestral) (optativa)
5	Mecánica	Automóviles (cuatrimestral) (optativa)

Tabla 24. Plan de Estudios Ingenieros Industriales 1965

Vuelve a contemplarse la palabra Proyectos, desapareciendo la Oficina Técnica, en este plan solo se contempla una asignatura en el quinto curso relacionada con Proyectos.

2.1.16.- Plan de Estudios de las Escuelas de Ingeniería Técnica de 1969

La orden de 27 de octubre de 1969 aprueba el plan de estudios de las Escuelas de Ingeniería Técnica (O. por la que se aprueba el plan de estudios, noviembre 1969), en el caso de los Ingenieros Técnicos Industriales de la especialidad mecánica quedaría de la siguiente forma (Tabla 25):

CURSO	ASIGNATURA
1	Algebra
1	Cálculo
1	Física
1	Química
1	Sistemas de representación y dibujo técnico
1	Tecnología
1	Electricidad
1	Mecánica general
1	Química básica
CURSO	ASIGNATURA (ESPECIALIDAD MECÁNICA)
2	Métodos matemáticos
2	Termotecnia
2	Conocimiento, ensayo y tratamiento de materiales
2	Elasticidad y resistencia de materiales
2	Dibujo industrial
2	Electricidad industrial y electrónica
2	Tecnología mecánica y metrotecnica
2	Topografía y construcción
CURSO	ASIGNATURA (ESPECIALIDAD MECÁNICA)
3	<i>Oficina técnica</i>
3	Legislación y economía de la empresa
3	Organización industrial
3	Higiene y seguridad en el trabajo
3	Procedimientos especiales y métodos de ensayo de soldadura
3	Mecánica de fluidos
3	Cinemática y dinámica de máquinas
3	Termodinámica y motores térmicos
3	Cálculo construcción y ensayo de máquinas
3	Cálculo construcción y montaje de estructuras industriales

Tabla 25. Plan de estudios Ingeniero Técnico Industrial Especialidad Mecánica 1969

En el resto de especialidades la asignatura Oficina Técnica se encuentra situada en el mismo curso.

Se sigue manteniendo el concepto de Oficina Técnica en una sola asignatura en tercer curso.



2.1.17.- Integración en 6 cursos del Plan de Estudios de la Escuela Técnica Superior de Ingenieros Industriales de la UPM de Madrid en 1976

La orden de 16 de septiembre de 1976 integraría en seis cursos los planes de estudios vigentes de la Escuela Técnica Superior de Ingenieros Industriales de la Universidad Politécnica de Madrid (UPM)(O. por la que se integran en seis cursos, octubre 1976), dicho plan quedaría de la siguiente forma, tres cursos comunes a todas las especialidades y tres cursos de especialidad, en la tabla se ha elegido como ejemplo, la especialidad de mecánica en la intensificación de máquinas. En el resto de especialidades la asignatura Proyectos tiene el mismo tratamiento en el plan de estudios:(Tablas 26 y 27):

CURSO	ASIGNATURA	
1	Álgebra lineal.	
1	Cálculo infinitesimal.	
1	Física.	
1	Química.	
1	Dibujo Técnico.	
2	Ecuaciones diferenciales.	
2	Ampliación de cálculo.	
2	Mecánica.	
2	Técnicas de representación.	
2	Química inorgánica y análisis.	
2	Química orgánica.	
3	Estadística.	
3	Elasticidad y resistencia de materiales.	
3	Termodinámica.	
3	Campos y ondas.	
3	Metalotecnia.	
3	Calor y frío industrial.	
CURSO	ESPECIALIDAD	INTENSIFICACIÓN MÁQUINAS
4	Mecánica	ASIGNATURAS
4	Mecánica	Matemáticas de la especialidad.
4	Mecánica	Electrotecnia general.
4	Mecánica	Teoría de las estructuras.
4	Mecánica	Cinemática y dinámica de máquinas.
4	Mecánica	Cálculo, construcción y ensayo de máquinas I.
4	Mecánica	Tecnología mecánica I.
4	Mecánica	Soldadura.

Tabla 26. Plan de estudios ETSII de Madrid 1976

CURSO	ESPECIALIDAD	INTENSIFICACIÓN MÁQUINAS
5	Mecánica	ASIGNATURAS
5	Mecánica	Teoría e instituciones económicas.
5	Mecánica	Electrónica general.
5	Mecánica	Mecánica de fluidos.
5	Mecánica	Regulación automática.
5	Mecánica	Cálculo, construcción y ensayo de máquinas II.
5	Mecánica	Tecnología mecánica II.
CURSO	ESPECIALIDAD	INTENSIFICACIÓN MÁQUINAS.
6	Mecánica.	ASIGNATURAS
6	Mecánica.	Administración de empresas.
6	Mecánica.	Organización de la producción.
6	Mecánica.	<i>Proyectos.</i>
6	Mecánica.	Máquinas hidráulicas.
6	Mecánica.	Máquinas térmicas.
6	Mecánica.	Calor y frío industrial.
6	Mecánica.	Ferrocarriles y automóviles.

Tabla 27. Plan de estudios ETSII de Madrid 1976

En este nuevo plan, la asignatura de Proyectos pasa de quinto a sexto curso, pero sigue manteniéndose como solo una asignatura.

2.1.18.- Directrices generales comunes de los Planes de Estudios Universitarios de 1987

Se publica el *Real Decreto 1497/1987, de 27 de noviembre, por el que se establecen directrices generales comunes de los planes de estudio de los títulos universitarios de carácter oficial y validez en todo el territorio nacional.* (RD. Por el que se establecen directrices, diciembre 1987).

Se desarrolla la ley anterior y establece la carga lectiva a través de créditos que por año académico estará comprendido entre 60 y 90 créditos.

Los contenidos de las enseñanzas elaboradas por las Universidades, tanto en los planes de estudio de primero y segundo ciclo se ordenarán distinguiendo entre materias troncales, materias obligatorias (propias de la Universidad), materias optativas (propias de la Universidad) y materias de libre elección por el alumno.

Las materias troncales serán como mínimo el 30% de la carga lectiva total, en primer ciclo y del 25% en segundo ciclo. Los créditos de Libre Configuración no serán inferiores al 10% de la carga lectiva.



2.1.19.- Materias troncales en el Título de Ingeniero Técnico de 1992

Se publica la relación de materias troncales de obligatoria incursión en todos los planes de estudios conducentes a la obtención del título Oficial de Ingeniero Técnico en Electricidad. Real Decreto 1402/1992 de 20 de noviembre (RD. Por el que se establece el título, diciembre 1992).

RELACION DE MATERIAS TRONCALES (por orden alfabético)
<ul style="list-style-type: none">- Administración de empresas y organización de la producción. Economía general de la empresa. Administración de empresas. Sistemas productivos y organización industrial- Diseño de máquinas. Cálculo, construcción y ensayo de máquinas. Diseño de máquinas.- Elasticidad y resistencia de materiales. Estudio general del comportamiento de elementos resistentes. Comportamiento de los sólidos reales.- Expresión gráfica y diseño asistido por ordenador. Técnicas de representación. Concepción espacial. Normalización. Fundamentos del diseño industrial. Aplicaciones asistidas por ordenador.- Fundamentos de ciencia de materiales. Estudio de materiales metálicos, poliméricos, cerámicos y compuestos. Tratamientos. Ensayos. Criterios de selección.- Fundamentos de informática. Estructura de los computadores. Programación. Sistemas operativos.- Fundamentos Físicos de la ingeniería. Mecánica. Electromagnetismo. Termodinámica. Ondas. Óptica.- Fundamentos matemáticos de la ingeniería. Algebra lineal. Cálculo infinitesimal. Ecuaciones diferenciales. Cálculo numérico.- Fundamentos de tecnología eléctrica. Circuitos. Máquinas eléctricas. Componentes y aplicaciones.- Ingeniería fluidomecánica. Mecánica de fluidos. Sistemas, máquinas fluidomecánicas y su análisis.- Ingeniería térmica. Fundamentos térmicos y termodinámicos. Equipos y generadores térmicos. Motores térmicos. Calor y frío industrial.- Mecánica y teoría de mecanismos. Estática, cinemática y dinámica del sólido rígido y aplicaciones fundamentales en la ingeniería. Análisis cinemático y dinámico de mecanismos y máquinas.- Métodos estadísticos de la ingeniería. Fundamentos y métodos de análisis no deterministas aplicados a problemas de ingeniería.- <i>Oficina técnica. Metodología, organización y gestión de proyectos.</i>- Proyecto fin de carrera. Elaboración de un proyecto fin de carrera como ejercicio integrador o de síntesis.- Tecnología mecánica. Sistemas y procesos de fabricación. Máquinas de control numérico. Metrología y calidad. Soldadura y aplicaciones.- Teoría de estructuras y construcciones industriales. Estudio general de estructuras e instalaciones industriales. Aplicaciones a construcciones industriales.

Tabla 28. Materias Troncales Plan de Estudios Ingeniero Técnico en Mecánica 1992



2.1.19.1.- Materias troncales del Plan de Estudios de Ingeniero Técnico en Mecánica

Se publica también en el mismo BOE el R.D. 1404/1992, sobre el título de Ingeniero Técnico en Mecánica (RD. Por el que se establece el título, diciembre 1992). Las materias troncales serían las que figuran en la Tabla 28.

Se establece la Oficina Técnica como materia en la que se contempla la metodología, organización y gestión de proyectos dentro de los planes de estudios de los Ingenieros Técnicos.

2.1.20.- Directrices generales comunes de los Planes de Estudios Universitarios de 1994

Se publica en el BOE del 11 de junio de 1994 el *“Real Decreto 1267/1994, de 10 de junio (RD. Por el que se modifica, junio 1994), por el que se modifica el Real Decreto 1497/1987, de 27 de noviembre (RD. Por el que se establecen directrices, diciembre 1987), por el que se establecen las directrices generales comunes de los planes de estudios de los títulos universitarios de carácter oficial y diversos Reales Decretos que aprueban las directrices generales propias de los mismos”*.

Se establece la correspondencia del crédito a diez horas de enseñanza teórica, práctica o de sus equivalencias.

El primer ciclo de las enseñanzas técnicas tendrá una duración de dos o tres años.

El segundo ciclo tendrá una duración de dos años.

Los contenidos de los planes de estudio en los dos ciclos se ordenarán:

- Materias troncales.
- Materias determinadas discrecionalmente por la Universidad.
- Materias obligatorias. Serán libremente establecidas por la Universidad.
- Materias optativas. Serán libremente establecidas por la Universidad.



En el primer ciclo, al menos un 15% de créditos de las materias obligatorias u optativas deberán reservarse para materias de carácter complementario o instrumental no específicas de la titulación de que se trate.

En el primer ciclo las materias troncales serán como mínimo el 30% de la carga lectiva.

En el segundo ciclo las materias troncales serán como mínimo el 25% de la carga lectiva.

El porcentaje de créditos de libre configuración no podrá ser inferior al 10 % de la carga lectiva.

2.1.21.- Planes de Estudios de Ingeniero Industrial en distintas Universidades

Se elaboran los planes de estudios en distintas Universidades, como por ejemplo:

2.1.22.- Plan de Estudios de Ingeniero Industrial en la Politécnica de Madrid del 2000

El 27 de enero del 2000 el BOE publica el plan de estudios para la obtención del título de Ingeniero Industrial, mediante la resolución de 30 de diciembre de la Universidad Politécnica de Madrid (Resolución de la Universidad Politécnica, enero 2000). Este plan en la actualidad está en vigor, pero está siendo sustituido por el nuevo plan adaptado al Espacio Europeo de Educación Superior (EEES). Este plan de estudio estaba configurado de la siguiente forma (Tablas 29 y 30):

CURSO	TIPO	ASIGNATURA
1	Troncal	Física general I.
1	Troncal	Cálculo I.
1	Troncal	Álgebra I.
1	Troncal	Dibujo industrial I.
1	Troncal	Química I.
1	Troncal	Informática.
1	Troncal	Física general II.
1	Troncal	Cálculo II.
1	Obl.	Álgebra II.
1	Obl.	Dibujo industrial II.
1	Obl.	Química II.
1	Obl.	Mecánica I.
2	Obl.	Ampliación de física I.
2	Troncal	Materiales I.
2	Obl.	Mecánica II.
2	Obl.	Ampliación de cálculo.
2	Troncal	Estadística.
2	Troncal	Termodinámica I.
2	Obl.	Ecuaciones diferenciales.
2	Obl.	Ampliación de física II.
2	Troncal	Electrotecnia I.
2	Troncal	Resistencia de materiales I.
2	Obl.	Termodinámica II.
2	Troncal	Economía.
3	Troncal	Resistencia de materiales II.
3	Troncal	Mecánica de fluidos I.
3	Troncal	Teoría de máquinas y mecanismos.
3	Troncal	Teoría de sistemas.
3	Obl.	Máquinas eléctricas I.
3	Obl.	Materiales II.
3	Obl.	Transmisión de calor.
3	Obl.	Mecánica de fluidos II.
3	Obl.	Optativas

Tabla 29. Plan de Estudios (1º, 2º y 3º curso) Ingeniero Industrial Politécnica de Madrid

El alumno deberá cursar créditos de optativas en diferentes grupos.



El plan de estudios del segundo ciclo se establece para las distintas intensificaciones, en el caso de la intensificación de Ingeniería Eléctrica sería:

CURSO	TIPO	ASIGNATURA
4	Troncal	Métodos matemáticos de especialidad.
4	Troncal	Electrónica y regulación automática.
4	Troncal	Organización industrial.
4	Opt.	Optativa 1.
4	Troncal	Ingeniería térmica y de fluidos.
4	Troncal	Tecnología de materiales.
4	Troncal	Estructuras y construcciones industriales.
4	Troncal	Fabricación I.
4	Opt.	Optativa 1.
4	Opt.	Optativa 2.
5	Troncal	<i>Proyectos.</i>
5	Troncal	Tecnología eléctrica.
5	Troncal	Ingeniería del transporte.
5	Opt.	Optativa 1.
5	Opt.	Optativa 3.
5	Troncal	Administración de empresas.
5	Troncal	Ingeniería del medio ambiente.
5	Troncal	Tecnología energética.
5	Obl.	Inglés.
5	Opt.	Optativa 1.
5	Opt.	Optativa 4.

Tabla 30. Plan de Estudios (4º y 5º curso) Ingeniero Industrial Politécnica de Madrid

Con relación a la asignatura proyectos, su situación sería igual en todas las intensificaciones. Una situación similar ocurre en los diferentes planes de estudio de otras Universidades.

Al reducirse a cinco cursos el plan la asignatura Proyectos, vuelve a situarse en el quinto curso.

2.1.23.- Espacio Europeo de Educación Superior

El 13 de abril de 2007, se publica en el BOE la Ley Orgánica 4/2007 de 12 de abril, esta ley estableció una nueva estructura de las enseñanzas con el fin de acercarlas al Espacio Europeo de Educación Superior (EEES) (LO. Por la que se modifica la LO., abril 2007).

2.1.24.- Ordenación de las enseñanzas Universitarias

El Real Decreto 1393/2007, de 29 de octubre, establece la ordenación de las enseñanzas universitarias oficiales (RD. Por el que se establece la ordenación, octubre 2007). Este Real Decreto asigna a la ANECA la competencia para establecer los procedimientos, protocolos y guías para la verificación de los títulos oficiales, así como para evaluar las propuestas de planes de estudio. La agencia desarrolló una serie de actuaciones para cumplir lo establecido (programa Verifica).

2.1.24.1.- Diseño de los Planes de Estudio

Las Universidades diseñarán sus planes de estudio y los enviarán al Consejo de Universidades que enviará a la ANECA para que emita el informe de evaluación. Con el informe favorable de la ANECA, el Consejo de Universidades emitirá resolución positiva que comunicará al Ministerio de Educación, a la Comunidad Autónoma y a la Universidad. El Ministerio enviaría la propuesta al Consejo de Ministros para que se otorgase el carácter oficial al título, a continuación, se inscribiría en el registro de Universidades, Centros y Títulos (RUCT).

2.1.24.2.- Requisitos para la verificación de los Títulos Universitarios

El 20 de febrero de 2009 el BOE publica la orden CIN/351/2009, de 9 de febrero por la que se establecen los requisitos para la verificación de los títulos universitarios oficiales (O. por la que se establecen los requisitos, febrero 2009). En el anexo se establecen los requisitos relativos a la memoria para la solicitud de verificación de títulos oficiales. En el apartado 5 hace relación a la planificación de las enseñanzas *“Los títulos a que se refiere el presente acuerdo son enseñanzas universitarias oficiales de grado, y sus planes de estudio tendrán una duración de 240 créditos europeos. Deberán cursarse el bloque de formación básica de 60 créditos, el bloque común a la rama industrial de 60 créditos, un bloque completo de 48 créditos, correspondiente a cada ámbito de tecnología específica, y realizarse un trabajo fin de grado de 12 créditos.”*



2.1.24.3.- Contenido de los Planes de Estudio

El plan debe incluir como mínimo los siguientes módulos de formación básica y común a la rama industrial (Tablas 31 y 32):

MÓDULO	ECTS	COMPETENCIAS QUE DEBEN ADQUIRIRSE
De formación básica	60	<p>Capacidad para la resolución de los problemas matemáticos que puedan plantearse en la ingeniería. Aptitud para aplicar los conocimientos sobre: álgebra lineal; geometría; geometría diferencial; cálculo diferencial e integral; ecuaciones diferenciales y en derivadas parciales; métodos numéricos; algorítmica numérica; estadística y optimización.</p> <p>Comprensión y dominio de los conceptos básicos sobre las leyes generales de la mecánica, termodinámica, campos y ondas y electromagnetismo y su aplicación para la resolución de problemas propios de la ingeniería.</p> <p>Conocimientos básicos sobre el uso y programación de los ordenadores, sistemas operativos, bases de datos y programas informáticos con aplicación en ingeniería.</p> <p>Capacidad para comprender y aplicar los principios de conocimientos básicos de la química general, química orgánica e inorgánica y sus aplicaciones en la ingeniería.</p> <p>Capacidad de visión espacial y conocimiento de las técnicas de representación gráfica, tanto por métodos tradicionales de geometría métrica y geometría descriptiva, como mediante las aplicaciones de diseño asistido por ordenador.</p> <p>Conocimiento adecuado del concepto de empresa, marco institucional y jurídico de la empresa. Organización y gestión de empresas.</p>

Tabla 31. Módulo de Formación Básica (Contenido Planes de Estudio) EEES

MÓDULO	ECTS	COMPETENCIAS QUE DEBEN ADQUIRIRSE
Común a la rama industrial	60	<p>Conocimientos de termodinámica aplicada y transmisión de calor. Principios básicos y su aplicación a la resolución de problemas de ingeniería.</p> <p>Conocimientos de los principios básicos de la mecánica de fluidos y su aplicación a la resolución de problemas en el campo de la ingeniería. Cálculo de tuberías, canales y sistemas de fluidos.</p> <p>Conocimientos de los fundamentos de ciencia, tecnología y química de materiales. Comprender la relación entre la microestructura, la síntesis o procesado y las propiedades de los materiales.</p> <p>Conocimiento y utilización de los principios de teoría de circuitos y máquinas eléctricas.</p> <p>Conocimientos de los fundamentos de la electrónica.</p> <p>Conocimientos sobre los fundamentos de automatismos y métodos de control.</p> <p>Conocimiento de los principios de teoría de máquinas y mecanismos.</p> <p>Conocimiento y utilización de los principios de la resistencia de materiales.</p> <p>Conocimientos básicos de los sistemas de producción y fabricación.</p> <p>Conocimientos básicos y aplicación de tecnologías medioambientales y sostenibilidad.</p> <p>Conocimientos aplicados de organización de empresas.</p> <p><i>Conocimientos y capacidades para organizar y gestionar proyectos. Conocer la estructura organizativa y las funciones de una oficina de proyectos.</i></p>

Tabla 32. Módulo Común a la Rama Industrial (Contenido Planes de Estudio) EEES

Estos dos módulos son comunes a cada ámbito de tecnología específica, posteriormente cada Universidad elaborará sus correspondientes planes de estudios.

2.1.25.- Racionalización del gasto público de 2012

El 21 de abril de 2012 se publica en el BOE el Real Decreto-ley de 20 de abril, de medidas urgentes de racionalización del gasto público en el ámbito educativo (RD. de medidas urgentes, abril 2012). Estas medidas afectan a los niveles universitarios, combinan medidas de carácter excepcional, justificadas por la actual coyuntura económica. Aparte de estas medidas, las Comunidades Autónomas aplican otras a mayores, que hacen que estos nuevos planes de estudio se vean de difícil implantación de acuerdo a los criterios establecidos en el Espacio Europeo de Educación Superior.



2.2.- Metodologías Colaborativas

2.2.1.- Introducción.

El Aprendizaje Colaborativo representa un cambio importante de la tradicional clase magistral en la que la enseñanza se centra en el docente. En las aulas donde se utilizan métodos colaborativos, la enseñanza basada en la típica clase magistral no desaparece, pero se complementa con otros procesos basados en el trabajo activo, el análisis y la discusión entre los estudiantes de las materias planteadas.

Los docentes que utilizan Aprendizaje Colaborativo cambian el concepto que tienen sobre su papel dentro de este proceso: pasan de ser transmisores de conocimiento hacia los estudiantes, a ser diseñadores de experiencias intelectuales, o creadores de un proceso de aprendizaje diferente (Smith, B. L. y Mac Gregor, J. T., 1992).

El Aprendizaje Colaborativo aborda cuestiones importantes relacionadas con la mejora del aprendizaje de los estudiantes. Distintas investigaciones apuntan que los docentes no pueden limitarse a transferir conocimientos a los estudiantes. En este tipo de aprendizaje, los estudiantes deben estructurar su mente, para poder asimilar la información recibida.

El Aprendizaje Colaborativo ofrece al estudiante la posibilidad de adquirir importantes competencias, aumentar sus relaciones sociales y poder trabajar en equipo. El Aprendizaje Colaborativo compromete a los estudiantes de forma personal y activa, reclamando a los participantes de este proceso, una aportación de los conocimientos desarrollados a partir de su propia experiencia, como también de las experiencias académicas y profesionales que posea (Barkley, E. F.; Cross, K. P. y Major, C. H. 2007).

Ya en el 2009 Mark Taylor, de la Columbia University, en su artículo publicado en The New York Times, titulado "End of University as We Know It", propone un cambio en los modelos educativos tradicionales, basados en estructuras cerradas. Incide no sólo en la reestructuración de los programas educativos, o la interrelación entre las distintas instituciones educativas y departamentos, sino también en el propio proceso de la transmisión del conocimiento (Taylor, Mark, 2009). Merino Egea indica que el modelo propuesto por Mark Taylor, con incidencia en mayor medida en las competencias y habilidades, da una mayor relevancia a los procesos de aprendizaje activos. Este modelo está basado en resolución de problemas y desarrollo de proyectos, y también en metodologías que promuevan la generación de procesos creativos, innovadores y colaborativos. (Merino Egea, M., 2013).



El Aprendizaje Colaborativo, es un término general para una variedad de enfoques educativos que implica un esfuerzo intelectual conjunto de los estudiantes, o de los estudiantes y docentes unidos (Smith, B. L. y Mac Gregor, J. T., 1992).

En los últimos años, los docentes de las instituciones de educación superior han visto un cambio de los sistemas educativos. Este desarrollo ha provocado como resultado, que los docentes de educación superior modifiquen sus modelos educativos. Muchos docentes se han alejado de una exclusiva clase tradicional, hacia un modelo modificado de plataformas pedagógicas en el que, la mayor parte del tiempo, los estudiantes son participantes activos en el proceso de aprendizaje. (Davidson, N.; Major, C. H. y Michaelsen, L. K., 2014).

Las ventajas del Aprendizaje Colaborativo, se ponen de manifiesto en múltiples investigaciones (Wiener, H. S., 1986) (Mac Gregor, J., 1987) (Goodsell, A. S. et al., 1992) (Dekker, R., Elshout-Mohr, M., y Wood, T., 2006) (Kramarski, B., y Weiss, I., 2007) (Pijls, M., Dekker, R., y Van Hout-Wolters, B., 2007). El aprendizaje colaborativo ofrece un espacio en el cual los estudiantes pueden compartir sus conocimientos, estructurar el pensamiento dentro del proceso de compartir y aprender también de los otros estudiantes, principalmente en grupos (Gumperz, J. J., y Hymes, D. H., 1986) (Pimm, D., 1987) (Duff, P. A., 2002) (Saville-Troike, M., 2003) (Nührenbörger, M., y Steinbring, H., 2009).

Respecto al tamaño del grupo, los investigadores suelen estar de acuerdo en que los alumnos que trabajan en pequeños grupos tienden a aprender más de lo que se les enseña, y retener por más tiempo lo aprendido. Por otra parte, los estudiantes que trabajan en grupos colaborativos están más satisfechos con sus clases (Hackbert, P. H., 2004).

La tabla 33 muestra distintos estudios en los que se refleja la satisfacción del alumnado al trabajar en grupo, preferentemente en grupos de pequeño tamaño.



Autor	Año	Publicación	Entorno
Collier, K.G.	1980	<i>Studies in Higher Education</i>	Educación Superior
Slavin, R. E.	1980	<i>Review of Educational Research</i>	Primaria/Secundaria
Slavin, R. E.	1983	<i>Psychological Bulletin</i>	Primaria/Secundaria
Whitman, N. A. y Fife, J. D.	1988	<i>ASHE-ERIC Higher Education Report</i>	Educación superior
Johnson, D. W. y Johnson, R. T.,	1989-04	<i>Interaction Book Company Edina, MN</i>	Deporte y aula
Beckman, M.	1990	<i>College Teaching</i>	Preparación para el lugar de trabajo
Chickering, A.W. y Gamson, Z.F	1991	<i>New Directions for Teaching and Learning</i>	Pregrado
McKeachie, W. J. et al.	1986	<i>Ann Arbor: National Center for Research to Improve Postsecondary Teaching and Learning</i>	Enseñanza Universitaria
Johnson, D. W.; Johnson, R. T. y Smith, K. A.	1991	<i>ASHE-ERIC Higher Education Report</i>	Educación Superior
Goodsell, A. S. et al.	1992	<i>University Park: National Center on Postsecondary Teaching, Learning, and Assessment</i>	Enseñanza Universitaria
Gabriele, A. J.	2007	<i>British Journal of Educational Psychology</i>	Primaria/Superior
Rozenszayn, R. y Assaraf, O. B-Z.	2011	<i>Research in Science Education</i>	Secundaria
Gubera, C. y Aruguette, M. S.	2013	<i>Social Psychology of Education</i>	Enseñanza Universitaria
Lee, S.; Kang, E. y Kim, H. B.	2015	<i>Journal of Science Education and Technology</i>	Enseñanza Universitaria

Tabla 33. Resumen distintos estudios realizados en distintas áreas sobre trabajo colaborativo con grupos pequeños

La literatura científica presenta distintas revisiones sobre el aprendizaje colaborativo: (Vangrieken, K. et al., 2015), (Lee, S.; Kang, E. y Kim, H. B., 2015), (López-Yáñez, I. et al., 2015), (Lai, E.R., 2011), donde se describen aplicaciones, herramientas, características generales y del grupo de trabajo, y beneficios aportados (tabla 34).

Características	Características Grupo Efectivo	Beneficios
<ul style="list-style-type: none"> • Activo • Participativo • Beneficio Mutuo • Interacción • Plural • Creativo 	<ul style="list-style-type: none"> • Interdependencia entre los miembros del grupo para conseguir un objetivo común. • Responsabilidad colectiva de los miembros del grupo. • Reciprocidad en las tareas (generación y presentación de trabajos) • Habilidades de cooperación social • Identificación por el grupo de trabajo de las características sociales de sus miembros. • Valoración del grupo 	<p>Académicos:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Promover pensamiento crítico • Involucrar al estudiante en el proceso de aprendizaje • Mejorar resultados académicos • Resolver de los problemas de forma más rápida • Potenciar y mejorar las capacidades de los alumnos. <p>Sociales:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Desarrollo de habilidades para el apoyo entre los miembros del grupo • Aumento de la aceptación de distintos puntos de vista • Mejora del clima de trabajo • Mejora de habilidades sociales <p>Psicológicos:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Reduce ansiedad antes los retos y problemas • Desarrollo de actitud positiva ante los retos y problemas

Tabla 34. Características, y beneficios aportados por el trabajo colaborativo adaptado de (López-Yáñez, I. et al., 2015), (Vangrieken, K. et al., 2015), (Lee, S.; Kang, E. y Kim, H. B., 2015), (Rozenszayn, R. y Assaraf, O. B-Z., 2011) y (Lai, E.R., 2011)

Según Srinivas, el Aprendizaje Colaborativo es un enfoque educativo a la enseñanza y al aprendizaje que involucra a grupos de estudiantes que trabajan juntos para resolver un problema, completar una tarea, o crear un producto. Describe como el Aprendizaje Colaborativo se basa en la idea de que el aprendizaje es un acto natural social, en el que los participantes se comunican entre ellos. Es, a través de la comunicación, cuando el aprendizaje se produce. Srinivas describe distintos enfoques de aprendizaje colaborativo (ver figura 3). En resumen, en un entorno de Aprendizaje Colaborativo, los estudiantes tienen la oportunidad de conversar con sus compañeros, presentar y defender ideas,

consultar en otros marcos conceptuales, y estar comprometido activamente (Srinivas, H. 2011).

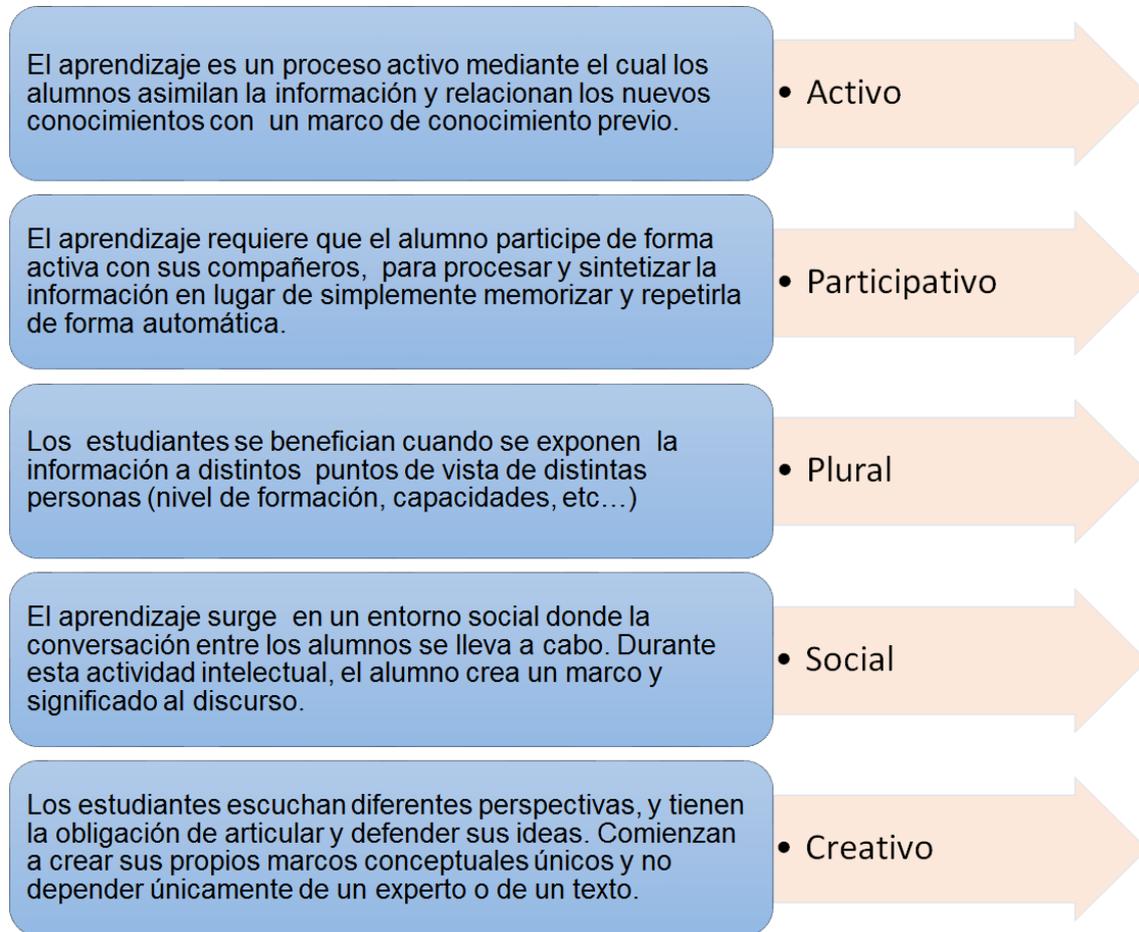


Figura 3. Enfoques de aprendizaje colaborativo, adaptado de Srinivas, H. 2011. National Institute for Science Education

La educación del futuro debe contemplarse sobre la base de una transformación de contenidos e interrelaciones personales. El nivel de conocimiento de los estudiantes no suele ser importante en un principio, porque lo que se pretende es desarrollar el trabajo en un nivel diferente. En este nivel, se centrará en la adquisición de habilidades, tanto instrumentales, como de otro tipo, fomentando la educación en valores, el conocimiento ético, y la conciencia social. El lenguaje y las expresiones tecnológicas utilizadas deben de ser revisados con el fin de elaborar estrategias, que consigan mejorar las habilidades de comunicación. Este cambio de los enfoques de enseñanza requiere que los docentes sean capaces de adoptar nuevas tendencias en los marcos curriculares, y dispuestos a aplicar los nuevos tipos de estrategias. Estrategias que sirvan para desarrollar diferentes habilidades cognitivas (Trigueros, C. et al., 2005). Por otro la-

do (Sancho-Thomas, P.; Fuentes-Fernández, R. y Fernández-Manjón, B., 2009), expresan que en determinados casos, como pueden ser aplicaciones de software, sí que se requieren una serie de habilidades para asegurar el trabajo de grupo.

Es importante crear entornos de Aprendizaje Colaborativo en el marco del Espacio Europeo de Educación Superior en los que se use la resolución conjunta de retos y problemas como instrumento conductor para la adquisición de competencias en entornos de trabajo reales, ya que las destrezas que adquieren así los estudiantes, suponen una ventaja competitiva importante a la hora de incorporarse al mercado laboral. (Alfonso Cendón, J.; Castejón Limas, M. y Fernández, L., 2013). Las metodologías colaborativas, junto con las herramientas utilizadas, son aptas para un aprendizaje más profundo y más completo que las metodologías tradicionales (Doctor Yuste, M., 2014). Por otra parte, Gubera, C. y Aruguete, M. S., en su artículo sobre la comparación entre el Aprendizaje Colaborativo y el método tradicional (clase magistral), sugieren que las técnicas de colaboración pueden ser una forma de mejorar las clases magistrales, pero no deben de ser utilizadas para reemplazarlas por completo (Gubera, C. y Aruguete, M. S., 2013).

2.2.2.- Implicación de los estudiantes en su aprendizaje y asignaturas que requieren labor de investigación

Los autores (Hansson, L.; Redfors, A. y Rosberg, M., 2011) destacan la importancia de la renovación de la enseñanza de las ciencias, para que más estudiantes sientan que la ciencia es de relevancia e importancia para ellos, y para la sociedad en su conjunto. Igualmente también existe un reconocimiento creciente de la importancia del conocimiento científico entre el resto de la comunidad, para conseguir una ciudadanía activa e informada.

(Serra Toledo, R. et al., 2013-12) indican que la investigación científica es necesaria para conseguir que los futuros profesionales puedan afrontar los problemas que se les planteen, ya que en el desarrollo de la ciencia y de la técnica se avanza a gran celeridad.

El desarrollo del pensamiento científico se considera uno de los objetivos planteados en la formación universitaria, en el que deben de participar todas las disciplinas que se imparten. Los docentes universitarios deben ser capaces de utilizar los resultados de sus investigaciones en del proceso formativo de los estudiantes.



(Xie, Y. y Reider, D., 2013), analizan los resultados de una innovadora experiencia de tecnología para los estudiantes y profesores. El proyecto ofreció una integración de dos tecnologías, para estimular el interés de los estudiantes en ciencia, tecnología, ingeniería y matemáticas. Las encuestas realizadas al finalizar el proyecto, demostraron un crecimiento del interés demostrado por los estudiantes en casi todas las áreas incluidas.

Otros investigadores (Salas Morera, L. et al., 2013), estudian cómo mejorar el nivel de conocimientos y habilidades de los estudiantes al ingresar en los programas de ingeniería y su opinión general sobre los estudios de ingeniería.

La participación y la interacción de los estudiantes es esencial para mejorar los resultados académicos y la mejora del aprendizaje autónomo, mediante la inclusión de preguntas formuladas por los propios estudiantes en los exámenes de evaluación. (Sánchez-Elez et al., 2014)

Existen diferentes estudios en los que se plantean propuestas diversas para involucrar a los alumnos en investigación, con el objetivo de mejorar su aprendizaje.

El aprendizaje a través de actividades educativas basadas en problemas ha demostrado ser muy eficaz mediante la incorporación de actividades de investigación relacionadas con los contenidos del plan de estudios o de un curso particular. (Khoukhi, A., 2013)

(Friedrich, J. M., 2014), presenta un trabajo en el que se involucra a los estudiantes de primeros años de Universidad en una primera experiencia de investigación y lograr varios objetivos científicos. Involucrar a los estudiantes en dichas tareas de investigación científica es complicado, y de hecho ha sido durante mucho tiempo un objetivo fundamental en los esfuerzos de las reformas educativas, y por lo tanto, es un enfoque a tener en cuenta en lo referente a la docencia. (Kim, H. J. et al., 2012).

Ciencia e ingeniería de calidad siguen siendo objetivos de alta prioridad, no sólo con el propósito de mantener una mano de obra altamente cualificada, sino también para fomentar el desarrollo de una ciudadanía con conocimientos científicos básicos que pueden participar en la toma de decisiones eficaces sobre cuestiones complejas.

La enseñanza de la ciencia e ingeniería continúa alejándose de la presentación de una colección de hechos a memorizar, y acercándose hacia un marco basado en la investigación que hace hincapié en la integración de las prácticas (por ejemplo, la explicación, la argumentación y la comunicación), conceptos transversales (por ejemplo, patrones de causa y efecto, y modelos del sistema), y asimilación de las ideas fundamentales, y todo esto tanto en la enseñanza de la ciencia e ingeniería, como en su aprendizaje y evaluación.



Se espera integrar en la enseñanza de la investigación los conocimientos basados en la práctica real para ayudar a los estudiantes a aprender cómo se genera dicho conocimiento científico.

Un desafío importante al que se enfrenta el campo de la enseñanza de las ciencias es la construcción de instrumentos de evaluación y sistemas que sean capaces de evaluar de forma válida y eficaz las prácticas científicas reales.

(Beggrow et al., 2014), (Saitta, E. K. H.; Bowdon, M. A. y Geiger, C. L., 2011) plantean el guión de las clases prácticas con las sugerencias y propuestas de los propios estudiantes, una vez investigada la tarea relacionada para cada clase.

Los autores (Ramlo, S. E. et al., 2008) inciden en la relevancia de las tareas de colaboración e investigación, para la formación en grado y postgrado, así como también en el carácter interdisciplinar de las herramientas informáticas utilizadas para el aprendizaje.

(Sanchez-Elez, M. et al., 2014). Explican cómo conseguir mejores resultados académicos y mejorar en el aprendizaje autónomo, por medio de la participación activa y la interacción de los estudiantes. El trabajo que desarrollan describe una experiencia educativa dirigida a la promoción del aprendizaje autónomo de los estudiantes, al obligarles a generar preguntas tipo test relacionadas con los contenidos del curso.

La idea principal es hacer que el estudiante se sienta parte del proceso de evaluación, mediante la inclusión de preguntas de los estudiantes en los exámenes de evaluación.

Las preguntas propuestas por los estudiantes son visibles para todos los alumnos matriculados, así, como para cada docente involucrado. De esta forma, pueden mejorar sus habilidades de análisis crítico, resolviendo y encontrando posibles errores en las preguntas enviadas por sus compañeros. Los resultados muestran que los estudiantes que han participado activamente en el experimento han obtenido un mejor rendimiento académico.

La interacción entre los estudiantes y el docente, influye en el proceso de diseño que realizan los estudiantes, principalmente al tomar las decisiones, y cómo estas se apoyan en diversos tipos de conocimientos de diseño.

La puesta en común de conocimientos y experiencias consiguen que los diseños se ajusten más a las necesidades planteadas (Esjeholm, B-T. y Bungum, B., 2013).



2.2.3.- Mejoras en el sistema de aprendizaje

(Solbes, J.; Guisasola, J. y Tarín, F., 2009), denotan la dificultad de transmisión del conocimiento de las teorías científicas a los estudiantes de postgrado. Presentan un diseño de una secuencia didáctica para un determinado campo de la Física.

Se elabora un plan de enseñanza muy detallado, en el que el diseño específico de la secuencia y la validación de los objetivos del proceso de enseñanza-aprendizaje deben ser tratados de forma simultánea. En su estudio, los autores demuestran que el método de enseñanza propuesto con sus preguntas para guiar la resolución de tareas, actividades de discusión, centrados en las relaciones entre los fenómenos y modelos explicativos, produjo significativamente mejores resultados de aprendizaje que el enfoque tradicional conferencia / exposición.

Se sugiere que para que los estudiantes desarrollen las habilidades propias del trabajo científico, es necesario ponerlas en práctica, y para ello, se les debe pedir a los estudiantes analizar las pruebas o datos, comparar las soluciones dadas por los diferentes grupos y justificar las estrategias utilizadas. Un cambio en las estrategias de enseñanza se hace necesario a lo largo de la etapa de formación de enseñanza superior, y no sólo en un curso.

(Graham W., S. et al., 2012), presentan la importancia del trabajo de campo para la mejora del aprendizaje, especialmente en el aprendizaje práctico en la enseñanza superior, por su valor para el aprendizaje del estudiante y la adquisición de experiencia. Se evaluaron los resultados recopilados en la realización de cuestionarios y ejercicios por los estudiantes.

Los estudiantes manifestaron adquirir un aprendizaje más efectivo a través de las actividades que son trabajo de campo, basado en: estudio, análisis, clasificación, ordenación y síntesis de toda la información recopilada, también mejoraron en el conocimiento de procedimientos científicos y asimilación de contenidos complejos, gracias a los trabajos de campo, comparando con el aprendizaje basado en el estudio de fuentes bibliográficas.

(Gregory P., T. y Campbell J., Mc R., 2013), nos dicen que los estudiantes deben usar los datos experimentales como evidencia para evaluar conscientemente la viabilidad de sus teorías y conocimiento existentes. En estos ambientes de aprendizaje, el tipo de pensamiento que se requiere de forma explícita de los estudiantes puede variar de lo que previamente se esperaba.

Los nuevos entornos de aprendizaje implican ubicar a los docentes y a los estudiantes bajo distintos puntos de vista, dependiendo de la naturaleza del propio aprendizaje (Thomas, G. P. y Mc Robbie, C. J., 2001). Promueven la participación de los estudiantes y docentes en el razonamiento científico auténtico, caracterizándose por la colaboración y la discusión de ideas.



La práctica dentro de la clase puede ser considerada como un elemento en los entornos de aprendizaje de los estudiantes, dentro de la cual los estudiantes son apoyados para participar en la discusión, las pruebas y la práctica de los procesos de razonamiento necesarias.

En el aula, el aprendizaje se convierte en un proceso de transformación de la participación, en la que tanto los docentes como los estudiantes brindan apoyo y orientación en los esfuerzos de aprendizaje compartido (Rogoff, B., 1997).

Lo que se aprende es visto como reclamaciones viables a través de procesos de la negociación que están mediadas por el lenguaje. Esta visión de la enseñanza y el aprendizaje contrasta fuertemente con lo que sigue siendo el modo dominante de la enseñanza y el aprendizaje tradicional que se basa en los sistemas de la semántica objetivistas donde la "verdad" es supuestamente transferida de forma intacta por parte del docente al estudiante.

(Freeman, S. et al., 2014), prueban que el aprendizaje activo parece eficaz en todos los tamaños de clase, aunque los mayores efectos son en clases de menos de 50 estudiantes.

(Butler et al., 2014), abogan por un enfoque alternativo para mejorar la educación, aprovechando la tecnología y la ciencia cognitiva para desarrollar intervenciones que generalizan, escalan y se pueden implementar fácilmente en cualquier plan de estudios.

En el trabajo realizado por (Bamberger, Y. M. y Cahill, C. S., 2013) se ha implementado un plan de estudios de ciencia e ingeniería para los estudiantes que integra retos de diseño en el contexto científico de la transferencia de energía y transformación. Los objetivos del trabajo fueron aumentar el conocimiento sobre el diseño de la enseñanza, así como las estrategias de soporte que pueden ayudar a facilitar la comprensión de los estudiantes en el proceso de diseño.

Uno de los principales problemas en el desarrollo de la ingeniería y la tecnología de la educación es el buscar una base conceptual sólida para el plan de estudios. Esta búsqueda se ha convertido en relevante, la naturaleza de la educación tecnológica ha cambiado, ha evolucionado gradualmente, de centrarse en habilidades a centrarse en la alfabetización tecnológica. Esta alfabetización implica que los estudiantes han desarrollado una imagen realista de la ingeniería y la tecnología. (Rossouw, A.; Hacker, M. y de Vries, M. J., 2011)

(Shuvra, D.; Sandra, A. Y. y Mohan, K., 2010), en su trabajo describen como el diseño de productos de hoy en día requiere un conocimiento de diferentes disciplinas de la ingeniería, así como la capacidad de comunicarse y trabajar bien en equipos multidisciplinares.



2.2.4.- Los estudiantes en el aprendizaje colaborativo

El Aprendizaje Colaborativo supone un nuevo enfoque educativo para la enseñanza y el aprendizaje que involucra a grupos de estudiantes que trabajan juntos para resolver un problema. En el entorno del aprendizaje colaborativo, a los estudiantes se les plantea un reto social y emocional mientras escuchan diferentes perspectivas, que son necesarias para articular y defender sus ideas. Al hacerlo, los estudiantes comienzan a crear sus propios marcos conceptuales únicos y no depender únicamente de un experto, de un texto, o de un marco de referencia (Marjan Laal, MD. y Mozhgan Laal, MSc., 2012).

La participación activa de los estudiantes se considera un factor muy importante en la educación. Para conseguir una mayor implicación o una mayor participación de los estudiantes en el proceso de aprendizaje, esta participación activa debe estar programada, se puede decir, que la participación activa de los estudiantes debe ir acompañada de instrucciones específicas. (Saiz, C.; Rivas, S. F. y Olivares, S., 2015).

(Canaleta, X. et al., 2014), establece que los métodos de aprendizaje basado en lecturas a menudo dan como resultado un estudiante pasivo con el único objetivo de pasar el examen final. Como consecuencia de ello, la retención de contenidos es temporal y no se logra el verdadero aprendizaje. La carencia de motivación en el estudiante se puede resolver usando metodologías de Aprendizaje Activo: juegos serios, Aprendizaje Basado en Proyectos (PBL), Aprendizaje Variado, etc. En suma, esas metodologías aumentan el desarrollo de competencias de los estudiantes y proporcionan una mayor evaluación de los resultados, mediante el uso de herramientas adecuadas.

Se entiende que los estudiantes están comprometidos con el aprendizaje cuando participan activamente en las actividades de aprendizaje propuestas, principalmente en los aprendizajes en los que se desarrollan habilidades de pensamiento que implican la interacción y colaboración con los compañeros. (National Survey of Student Engagement, 2012) (Konsky, B. R. von, et al., 2014). Las herramientas son importantes, pero no menos importantes son las actividades marcadas (Vázquez-Abad, J. et al., 2004) Las metodologías de enseñanza pasivas no permiten a los estudiantes desarrollar y alcanzar habilidades para hacer frente a problemas multidisciplinares complejos. (Ditcher, A.K. 2001).

El uso de metodologías activas de enseñanza se ha extendido en los últimos años en la enseñanza de las ingenierías. Enfoques basados en resolución de problemas, estudios de casos y simulaciones matemáticas y desarrollo de proyectos forman parte de metodologías activas de enseñanza. (Guardiola, C., et al., 2013).

Se puede observar que las metodologías activas promueven la participación del alumno en su propio aprendizaje. En los cursos de ingeniería, se fomenta mediante actividades prácticas, que se desarrollará tanto dentro como fuera del aula. El trabajo realizado fuera del aula corresponde a su actividad autónoma. Esta actividad autónoma debe acompañarse de instrucciones y acompañamiento con el objetivo de conseguir conducir un aprendizaje efectivo. (Blanc, S.; Yuste, P. y Sánchez, A., 2013)

En un ambiente de Aprendizaje Colaborativo, los estudiantes participan activamente en el proceso de aprendizaje, sobre todo, si las tareas a realizar tienen un componente empírico. Se puede decir también, que los estudiantes parecen identificarse con la necesidad de estar involucrados en simulaciones de su futura actividad profesional, así como con la necesidad de regular su propio aprendizaje (preparación y presentación de clases), para promover la discusión no sólo entre pares, sino también con el docente. (Pinheiro, M. M. y Simões, D., 2012).

En el ambiente de Aprendizaje Colaborativo, los estudiantes cambian social y emocionalmente, según escuchan las diferentes perspectivas, y son requeridos para defender y articular sus ideas. Haciendo esto, los estudiantes comienzan a crear sus propios marcos de referencia conceptuales, y no sólo a confiar en textos o en marcos de referencia de expertos. En el entorno de Aprendizaje Colaborativo, los estudiantes tienen la oportunidad de conversar con sus iguales, presentar y defender sus ideas, intercambiar sus pareceres, cuestiones u otros marcos conceptuales, y se implican activamente (Srinivas, H. 2011).

En el aprendizaje entre alumnos, la colaboración entre iguales es más propensa a generar diálogos instructivos productivos, fomentando soluciones conjuntas a los problemas (Damon, W y Phelps, E., 1989). En el Aprendizaje Colaborativo el nivel de conocimiento de los miembros de los equipos puede ser similar, fomentando diálogos altos en igualdad y reciprocidad, permitiendo establecer relaciones simétricas, aunque desarrollen roles distintos. (Saiz-Adalid, L. J. y Gracia-Morán, J., 2013).

(Zell, P. y Malacinski, G.M., 1994) sostienen que se mejora del aprendizaje cuando se utilizan pequeños grupos en estudiantes universitarios. Jahng, N.; Nielsen, W. S. y Chan, E. K. H., presentan una investigación desarrollada en un proceso de Aprendizaje Colaborativo en un curso online que examina la comunicación de estudiantes en las discusiones del grupo completo y las actividades de pequeños grupos. El resultado muestra que los modelos de participación fueron similares en los dos marcos (grupo completo y pequeños grupos), pero algunos estudiantes inactivos en el grupo completo fueron más activos en pequeños grupos. Al tomar un papel más activo en el grupo pequeño, se puede confirmar la idea de que la actividad de un grupo pequeño proporciona un entorno emocionalmente más seguro, ya que obliga a los estudiantes a adoptar



una responsabilidad activa como miembros de un Aprendizaje Colaborativo. (Jahng, N.; Nielsen, W. S. y Chan, E. K. H., 2010).

Estrategias colaborativas y aprendizaje basado en problemas, han demostrado ser efectivos para reforzar el aprendizaje de ciencia, tecnología, ingeniería y matemáticas. Curran, E.; Carlson, K. y Turvold Celotta, D. utilizan una técnica de aprendizaje colaborativo, denominada Peer-Led Team Learning (PLTL) implicando en la resolución de problemas a los estudiantes generando incluso un posterior debate de las soluciones aportadas, bajo la ayuda de un estudiante que facilite esta tarea de debate. En su estudio comparativo investigan el impacto de un aprendizaje basado en PLTL sobre un programa de un curso de Introducción a la Estadística Aplicada. Los resultados sugieren que los estudiantes participantes del Aprendizaje Colaborativo adquieren un dominio mucho mayor de la materia de estadística frente a los que no participan. En este estudio, demuestran que la profundidad y amplitud del aprendizaje de los estudiantes en una introducción a la estadística en aula, puede mejorarse significativamente a través de un estructurado programa de Aprendizaje Colaborativo. (Curran, E.; Carlson, K. y Turvold Celotta, D., 2013).

Los estudiantes en su trabajo final (trabajo fin de grado) comúnmente experimentan aislamiento y distanciamiento cuando elaboran ese trabajo, lo cual contribuye a dificultar su finalización. Un beneficio creativo y social para prevenir el aislamiento para los futuros graduados es implicarles en la participación con grupos conocidos en proyectos de investigación. Facilitar un estudio de investigación en un grupo puede ser una experiencia muy positiva. (Meulen, E., 2011).

2.2.5.- Elementos integrantes en el aprendizaje colaborativo: Desempeño y Rol Docente – Alumno.

Barkley, E. F.; Cross, K. P. y Major, C. H., nos indican en su libro que la primera característica del Aprendizaje Colaborativo es el “diseño intencional”. En un sistema de aprendizaje convencional, normalmente los docentes indican a los estudiantes que se reúnan en grupos para trabajar. En el modelo de Aprendizaje Colaborativo los docentes deben estructurar las actividades de aprendizaje intencional para los alumnos.

Las diferentes actividades que presenta el docente para conseguir su estructura, puede hacerlo seleccionándolas de entre una serie de tareas ya existentes, o bien puede crear sus propias estructuras. Tanto en un caso, como en el otro, la clave está en la estructura *intencional*. (Fuente Valentín, I. et al., 2009) ponen también de manifiesto que uno de los factores más importantes es cómo se estructura el proceso de aprendizaje.



Se puede decir que el Aprendizaje Colaborativo, establece que dos o más estudiantes trabajen en grupo, compartiendo de forma equilibrada el trabajo a realizar con el objetivo de conseguir el aprendizaje establecido (Barkley, E. F.; Cross, K. P. y Major, C. H., 2007).

En un estudio realizado por McCoy, B., describe cómo los docentes pueden gestionar eficazmente el aprendizaje a través de la participación activa de todos los estudiantes a lo largo de cada período de clase. En su artículo, hace referencia a la National Middle School Association, que demuestra cómo los estudiantes aprenden a través de la participación activa y reflexiva con las ideas, el medio ambiente, y otros estudiantes. (National Middle School Association). En el estudio realizado por McCoy, B., se demuestra como las estrategias de enseñanza y aprendizaje activos y reflexivos funcionan como herramientas para la gestión del aprendizaje en el aula.

El concepto de involucrar a los estudiantes a través de actividades integradoras, temáticas, y reflexivas podrían mejorar la enseñanza y el aprendizaje en cualquier contexto cultural, en cualquier parte del mundo. Las ventajas del uso de estas estrategias incluyen una mayor participación de los estudiantes que se traduce en un pensamiento más profundo y de largo plazo de retención de los conceptos aprendidos. Las desventajas incluyen un mayor tiempo de preparación para los docentes y el reto de proporcionar acceso a múltiples recursos de aprendizaje.

Como conclusión se obtiene que la gestión de las clases se lleva a cabo antes y después del día escolar a través de la evaluación del trabajo del estudiante, clases de planificación y plan de estudios, y por medio de hacer conexiones con otros estudiantes, educadores y familias. (McCoy, B., 2013).

(Vangrieken, K. et al., 2015) denotan la importancia de la colaboración entre los docentes para el éxito de una metodología colaborativa en grados superiores

La pasividad del estudiante en situaciones de aprendizaje es un problema que afecta a docentes universitarios y les lleva a buscar mejores formas de ayudar a los estudiantes convertidos en participantes más activos. Existen distintas sugerencias sobre formas de fomentar esta participación activa, pero cabe preguntarse cuáles son más productivas. El involucrar al estudiante resulta en determinados casos imprescindible, el docente debe programar actividades para conseguir una participación activa del estudiante (García Teruel, M., 2011).

(Rozenszayn, R. y Assaraf, O. B-Z., 2011), apunta que en el trabajo colaborativo, la transmisión y generación de conocimiento es más sencilla cuando los grupos son homogéneos con respecto a las habilidades de sus miembros. Su revisión de la literatura científica demuestra que el mejor entorno de colaboración se produce cuando los grupos de trabajo son heterogéneos en lo referente a las habilidades de sus miembros, cuando la diferencia de habilidades entre



los miembros del grupo no son extremas. En este caso, la intervención del docente es más importante, siendo los alumnos con menores habilidades los que requieren de más interacción con el docente. En su opinión, los grupos con un grado no extremo de heterogeneidad benefician del trabajo colaborativo (Rozenszayn, R. y Assaraf, O. B-Z., 2011).

Por otro lado, (Lai, E.R., 2011) afirma que el trabajo colaborativo genera mejores resultados que el trabajo de forma individual, afirmación compartida también por otros autores (Kyndt, E. et al., 2013). Lai describe como esos buenos resultados en la aplicación del trabajo colaborativo son más destacados en alumnos no especialmente brillantes, y reflexiona también sobre elementos que reducen el éxito del trabajo colaborativo: el individualismo de los miembros del grupo, su heterogeneidad y las propias características del trabajo a realizar.

(Rozenszayn, R. y Assaraf, O. B-Z., 2011) destacan que los resultados con grupos pequeños son mejores que con grupos grandes, y resume las características de un grupo eficiente para el trabajo colaborativo (ver tabla 34). De su experiencia, deduce también que el docente es una pieza clave, su rol *en las discusiones es crucial*: “establece un puente entre alumnos con bajas habilidades y alumnos con grandes habilidades, para que el proceso de aprendizaje suceda”

(Psycharis, S., 2008), estudia la influencia del contenido de la tarea en el trabajo colaborativo, en su caso, si la tarea planteada podría tener una solución única o varias soluciones. Sus resultados apuntan a un nivel de dificultad más elevado en el segundo caso para el trabajo colaborativo, requiriendo un proceso para el consenso. Este resultado se acentúa si el grupo es de mayor tamaño.

En el proyecto de investigación realizado por Witkowski, P. y Cornell, T., utilizan el aprendizaje y la colaboración de dos docentes lectores con el objetivo de estudiar los efectos de las actividades de clases colaborativas sobre la implicación de los alumnos.

Los estudiantes fueron preguntados por su implicación en comportamiento, cognitivo y dominio afectivo. La atención se centró en el uso de “técnicas de enseñanza que permite a todos los estudiantes demostrar, al mismo tiempo, la participación activa y el compromiso cognitivo en el tema objeto de estudio. Como conclusión del estudio, se observó que existe una responsabilidad doble, siendo parte de esta responsabilidad de los propios estudiantes. En su cita a Morrison, éste demuestra en su artículo el importante cambio de actitud que deben realizar los estudiantes, ya que dejan de ser meros receptores pasivos, para convertirse en miembros activos del sistema enseñanza- aprendizaje (Morrison, C. D., 2014).

Los datos del estudio demostraron que la mayoría de los estudiantes considera que las actividades de colaboración ayudaron a comprender el contenido mejor y además, que estando motivados se aprende más sobre el contenido



(Witkowski, P. y Cornell, T., 2015). Chang, Y-S., afirma que la creatividad tecnológica de los estudiantes de los grupos que trabajaban en colaboración conectados en línea, fue mejor que la de los de los grupos tradicionales, especialmente con respecto a la creatividad del producto (Chang, Y-S., 2013).

Un estudio realizado por Hilvano, N. T.; Mathis, K. M. y Schauer, D. P., sobre estudiantes de pregrado, tratan de analizar la involucración de los estudiantes en el debate. Para responder a estos retos, diseñaron un proyecto de debate en grupos pequeños (SGD) con problemas basados en casos relacionados con la teoría y la práctica.

El objetivo que perseguían era involucrar activamente a los estudiantes haciendo que trabajasen en colaboración para resolver problemas basados en casos reales, mediante la utilización de discusión en grupos pequeños, esperaban mejorar las habilidades del pensamiento crítico, mejorar la autoestima, cultivar una actitud positiva hacia el aprendizaje, aumentar la motivación y mejorar las habilidades interpersonales.

Se plantearon la diferencia que podría existir antes de la participación en grupos (aprendizaje individual) frente a cuando los estudiantes están aprendiendo en colaboración a través de grupos. También analizaron el impacto sobre el conocimiento, la actitud y las habilidades psicomotoras cuando se utiliza el aprendizaje colaborativo para resolver problemas basados en casos reales.

Una sesión de posters dio la oportunidad a los estudiantes de exponer su trabajo a todos, así como generar discusiones activas y evaluación por pares. El estudio demostró un significativo efecto positivo sobre el conocimiento de los estudiantes, su actitud, y sus habilidades psicomotrices (Hilvano, N. T.; Mathis, K. M. y Schauer, D. P., 2014).

Para garantizar una colaboración eficaz entre los alumnos, la intervención y el seguimiento del proceso de aprendizaje por parte del docente son indispensables. El papel de los docentes no se limitará a la agrupación de los estudiantes y la evaluación de los productos finales, sino que tendrían que realizar otras funciones, como son, el desarrollar estrategias para proyectos de colaboración (Bose, S., 2010).

Las nuevas titulaciones de grado en el Espacio Europeo de Educación Superior, exigen una continua revisión, aprobación y control de los programas y de su ejecución en el aula. Para conseguir una buena eficacia en su implantación, es necesaria una fuerte participación de todos los miembros involucrados, lo que obliga a una mayor colaboración entre todos y a una inversión de tiempo superior a los sistemas de enseñanza antes utilizados. Los nuevos modelos de enseñanza deben someterse a una revisión constante, lo que obliga a una mayor atención control y evaluación de los modelos implantados. (Buenestado, P. y Rodríguez Pérez, A. C., 2013). La utilización de métodos activos por parte del



docente puede compatibilizarse con el método tradicional (Jiménez Hernández, D., 2015). La formación del docente es fundamental para lograr mejoras en los procesos de enseñanza-aprendizaje (Moratalla Isasi, S., 2006). Esta formación debe de ser permanente cuando se necesitan reformas en los sistemas educativos, buscando un docente participante, activo y crítico, que dinamice ciclos de innovación y formación mediante la investigación colaborativa (Rubio Pantoja, L., 2004).

El uso de las tutorías asíncronas al no requerir la participación en el mismo espacio de tiempo por parte del docente y del alumno, representa una ventaja en la organización de sus correspondientes actividades. La utilización de plataformas educativas, y dentro de ellas el uso de foros, permite que la conversación docente-alumno sea visible para el resto de alumnos, lo que representa una importante ventaja a la hora de transmitir la información. Incluso permite que los alumnos puedan adoptar otros tipos de roles, incluso de instructor adoptando una estrategia de aprendizaje colaborativo. (Tuset, J. J. et al., 2013).

2.2.6.- Herramientas utilizadas en el aprendizaje colaborativo.

Uno de los mayores retos de la enseñanza en la educación superior es ayudar a los estudiantes a establecer el puente entre los conocimientos y la práctica de la vida real. Esto es especialmente importante en ciencias aplicadas, tales como la medicina, ciencias sociales, educación e ingeniería. Resulta cada vez más claro que las Tecnologías de Información y las Comunicaciones (TIC) están siendo usadas para crear otra “dimensión” para complementar el aprendizaje físico en aulas, permitiendo modos de aprendizaje flexibles y colaborativos (Pan, N.; Lau, H. and Lai, W., 2010). El uso de las TIC en las aulas permite al estudiante un aprendizaje más autónomo, que les permitirá el uso de las TIC fuera del aula para utilizarlas en diferentes contextos de aprendizaje, a través del Aprendizaje Colaborativo (Alves Durães, D., 2012).

Las Escuelas muestran los retos que demanda la sociedad de la información y la generación de estudiantes actual. No sólo utilizan nuestros estudiantes teléfonos móviles, sino también, están familiarizados con entornos online, especialmente en redes sociales. Esta situación puede ser vista como un reto y una oportunidad para las Escuelas, de tal manera que los teléfonos móviles y los tipos de software sociales pueden ser usados como herramienta para la creación de aprendizaje flexible en el contexto del Aprendizaje Colaborativo. (Vesisenaho, M. et al., 2010) (Toetenel, L., 2014).

En un estudio realizado por el grupo de Vesisenaho, M., sobre ejemplos de utilización de teléfonos móviles y software sociales como herramientas para la creación de aprendizaje flexible en el contexto del Aprendizaje Colaborativo en la educación superior, diseñaron y probaron nuevas formas de enseñanza y



aprendizaje utilizando tecnologías móviles con el objetivo de apoyar el Aprendizaje Colaborativo.

El resultado de la investigación concluye en que el uso de las TIC proporciona bastantes posibilidades en el desarrollo de la enseñanza y el Aprendizaje Colaborativo (Vesisenaho, M. et al., 2010). La mayoría de los autores coinciden en señalar que el uso de las TIC en educación es una posibilidad tecnológica para facilitar la interacción social entre el docente y los alumnos, y entre los alumnos (Gómez García, M., 2002). Las nuevas tecnología ayudan a mejorar el aprendizaje (Hernández-Leo, D. et al., 2007) y a motivar el trabajo colaborativo (Tang, Y; Guo, R. y Zhang, H., 2012), (Canaleta, X. et al., 2014), puede éste ser influenciado por el rendimiento de las herramientas informáticas empleadas (Fuente Valentín, I. et al., 2009).

Los recursos que proporciona internet como pueden ser los foros, intercambio de archivos, comunicación virtual, etc. Es una de las razones de por qué se utilizan como herramientas las redes sociales dentro del Aprendizaje Colaborativo, se facilita la comunicación fuera del aula, se fomenta el desarrollo tanto personal como colectivo del alumno, se adquieren competencias transversales y se fomenta el trabajo en equipo (Alfonso, J. et al., 2011). Un foro web se puede considerar una parte fundamental de cualquier plataforma de aprendizaje en colaboración, la realización de un análisis cualitativo efectivo sobre las conversaciones utilizadas en el foro por parte de los usuarios, supone el mejor complemento al análisis cuantitativo de sus acciones (Casillas Santillán, L. A., 2010), (Thongkoo, K. y Thongkhu, C., 2015), (Decker, B.; Rech, J. y Althoff, K. D., 2005).

Con el rápido desarrollo de la Tecnologías de la Información (IT), los docentes tienen más oportunidades de aplicar estrategias de aprendizaje basadas en WEB. Como muestran distintos estudios, esta oportunidad se puede convertir en una dificultad, ya que los estudiantes fácilmente se encuentran perdidos en la búsqueda de información en Internet sin ningún soporte de ayuda (Wang, H-Y. y Hwang, G-J., 2012). Wnag, es su investigación define una estrategia de aprendizaje cooperativo basado en WEB integrando WebQuest y apoyado con metodología de trabajo colaborativo (Jigsaw II, en su caso). Evalúa sus resultados con un grupo de 134 estudiantes, obtenido buenos resultados

En el artículo de Wilson, K. L. y Boldeman, S. U., se presenta una investigación acerca de cómo las TIC (concretamente una selección de herramientas de la Web 2.0) puede ser integradas en una unidad de trabajo en la formación científica de estudiantes que se encuentran fuera del sistema general educativo, para atender específicamente a las necesidades de participación de dichos estudiantes (Wilson, K. L. y Boldeman, S. U., 2012). Gianluca, E. et al. En su estudio, demuestran el éxito que entre otros factores, tiene el uso de herramientas



web 2.0 como facilitadores del proceso de aprendizaje colaborativo (Gianluca, E. et al., 2014).

La búsqueda de nuevas estrategias docentes basadas en los dispositivos móviles se convierte cada vez en más frecuente. Da la impresión que debe resultar interesante tanto para docentes como para alumnos el uso de estos dispositivos. La posibilidad del acceso a los contenidos elaborados por el docente por parte de los alumnos desde cualquier ubicación, supone para éstos una mayor eficacia en el desarrollo de su trabajo. Para el docente el uso de estos dispositivos les incita a investigar en nuevas estrategias docentes, le permite ver y evaluar el trabajo y la participación de los estudiantes, así como también evaluar la participación de estos en trabajos colaborativos (Alonso Secades, V.; Arranz García, O. y Pedrero Esteban, A., 2013).

La enseñanza a través de internet contribuye a la interacción. La interacción no suele ser suficiente en las clases tradicionales. La interactividad es la clave para poder utilizar la enseñanza a través de Internet en los procesos de enseñanza - aprendizaje.

Los docentes que utilizan esta tecnología, se convierten en un pilar fundamental para el funcionamiento del sistema, diseñando estrategias de interacción de los estudiantes con la enseñanza y el aprendizaje. El uso de este sistema, proporciona a los estudiantes la oportunidad de intercambiar ideas, información, aprender colaborando, ser más creativos, desarrollar sus estilos de aprendizaje, aunque exista separación física entre ellos (Istifci, I. y Kaya, Z., 2011). Hsu, H-Y.; Wang, S-K. y Runco, L., exponen cómo las nuevas TIC emergen y evolucionan, y los estudiantes necesitan estas nuevas habilidades y prácticas para participar con éxito dentro de una comunidad (Hsu, H-Y.; Wang, S-K. y Runco, L., 2013).

El trabajar en grupo, incluso en separaciones geográficas grandes, les permite a los estudiantes compartir experiencias, realizar análisis desde diferentes puntos de vista, colaborar en la resolución de problemas.

Este tipo de aprendizaje, que es usado mayoritariamente en la educación superior, en el que se aprecia que los estudiantes son animados a aprender a través de la educación a distancia, puede ser desarrollado a través de Campus Virtuales.

La colaboración que se genera en el uso de este tipo de aprendizaje, convierte a los estudiantes en más solidarios. El Aprendizaje Colaborativo crea un ambiente positivo social y facilita la comprensión.

El Aprendizaje Colaborativo se basa en la idea que los estudiantes trabajan en grupos a través de un objetivo común, con lo que se consigue que puedan aprender mejor que si los estudiantes trabajasen individualmente. Se puede considerar que el aprendizaje colaborativo requiere solidaridad y lealtad reci-



proca, implica a todos los miembros del grupo en una participación activa para lograr el objetivo planteado.

Los docentes que son partidarios del Aprendizaje Colaborativo en la educación a distancia tienen cuatro funciones principales. Estos son los roles educativos, sociales, administrativos y técnicos. Los docentes se convierten en consejeros, ayudantes y partidarios del proceso de aprendizaje en lugar de ser controladores del contenido y el proceso (Istifci, I. y Kaya, Z., 2011).

Arranz García, O. y Alonso Secades, V., comentan que la incursión de las TIC en la educación está haciendo cambiar los procesos educativos, además hace que se cuestione en la sociedad el rol que desempeña la Universidad en el momento actual (Arranz García, O. y Alonso Secades, V., 2013). El empleo de las TIC adquiere mucha importancia en los nuevos métodos de enseñanza que impulsa el EEES. Las TIC están suponiendo un cambio en las metodologías y los nuevos sistemas de trabajo (Puyuelo, M. et al., 2013). El uso de ordenadores e internet abren nuevas fronteras de la visualización a través de la simulación, crean nuevos espacios para la comunicación y la colaboración entre los científicos y, realizan el procesamiento de datos de una forma más eficaz (Lee, S. W-Y. y Tsai, C-C., 2013). También los proyectos de innovación docente evolucionan hacia espacios de aprendizaje diferentes en los que se utilizan las TIC. Se puede adaptar el aprendizaje a las necesidades actuales del estudiante. Se considera imprescindible el uso de las TIC para la formación docente, con el objetivo de conseguir cumplir con las dedicaciones que impone las directrices de los nuevos planes de estudio del EEES (Farrerons Vidal, O. y Olmedo Torre, N., 2013). Es importante investigar y seleccionar qué tecnología utilizar, en el uso de las herramientas de aprendizaje basado en las TIC (Zhang, L., 2014).

Últimamente la utilización de determinados software, se han integrado como competencias dentro de algunas asignaturas. Las competencias transversales relativas a las TIC, están muy valoradas por las empresas, según se expone en los libros blancos de la ANECA sobre titulaciones de grado en Ingenierías, tanto informáticas como de la rama industrial. La utilización de determinados software resulta muy interesante para determinadas empresas, que lo utilizan normalmente dentro de su actividad (Souto-Iglesias, A., 2013).

Yigit, T. e Ince, M., utilizan una herramienta de software basada en la web de aprendizaje educativo repositorio de objetos, fue desarrollada para la educación en ingeniería informática. Este software utiliza un método de investigación de desarrollo, que es también un derivado del método de investigación basado en el diseño. La herramienta desarrollada basada en la web se utiliza para almacenar y compartir objetos de aprendizaje y sus metadatos (Yigit, T. e Ince, M., 2014).



El uso de las TIC dentro de las enseñanzas técnicas en la Universidad, no supone una disminución del esfuerzo personal por parte de docentes y alumnos dentro del proceso educativo, sí que contribuyen al desarrollo cognitivo del estudiante, facilitando también la colaboración entre ellos (Arranz García, O. y Alonso Secades, V., 2013). El éxito de la implantación de las TIC en la universidad española, depende no solo de la actitud del docente adoptando los cambios metodológicos que les supone el nuevo EEES, sino también del apoyo de la universidad en sus necesidades formativas, así como de los recursos necesarios para la implantación de los nuevos modelos de enseñanza-aprendizaje (Álvarez Álvarez, S. et al., 2011).

En un trabajo colaborativo, el uso de herramientas online gratuitas puede ser un factor determinante en la motivación de los estudiantes de los cursos presenciales (Martínez Rubio, J. M. y Escolar Bartet, L. T., 2013).

Carrasco García, A. et al, exponen que dentro de las TIC se pueden utilizar herramientas diferentes, como pueden ser los foros, las vídeo-conferencia y vídeo-tutorías, las tareas programadas online, el correo electrónico, los chats, etc. Las TIC deben de ser utilizadas dentro de los programas formativos, tanto dentro como fuera del aula, de este modo los estudiantes pueden trabajar de forma colaborativa, pueden evaluarse y compartir recursos (Carrasco García, A. et al., 2013).

2.2.7.- Experiencias en la aplicación del aprendizaje colaborativo, y su aplicación en los proyectos de Ingeniería Industrial.

La bibliografía científica presenta numerosas experiencias de la aplicación del trabajo colaborativo. Centrándose en el marco de la educación superior estas experiencias son numerosas en distintas áreas de conocimientos.

Del trabajo práctico de (Güneysu, S. y Tekmen, B., 2010), se extraen una serie de recomendaciones sobre la aplicación del método de trabajo colaborativo en educación superior. Por su experiencia, resaltan que ninguno de los métodos de aprendizaje es suficiente en sí mismo, recomendando mezclar varios métodos. Para un mejor cumplimiento de objetivos, destacan que antes de comenzar un curso el docente debe explorar las características individuales de los estudiantes (background, cursos previos, estilos, etc.). Plantea la posibilidad de cambiar algunos miembros del grupo para dar la oportunidad de trabajar con personas diferentes. Durante el desarrollo del curso es importante dar un correcto “feedback” a los estudiantes en el proceso de aprendizaje, y exponer al inicio las necesidades y las expectativas de los estudiantes en el curso, para evitar desánimos, abandonos de la asignatura, etc.



Güneysu propone realizar un balance entre los objetivos de los contenidos de la enseñanza y la obtención de Habilidades Sociales, siendo la teoría y la práctica indispensables para el aprendizaje eficiente, así como el uso herramientas propias del aprendizaje colaborativo para aumentar la motivación de los estudiantes.

Saiz, C.; Rivas, S. F. y Olivares, S. apuntan como uno de sus objetivos fundamentales en su investigación educativa la mejora del pensamiento crítico. Para ellos ha sido, y sigue siendo, el fundamento de sus esfuerzos en investigación. Han desarrollado y evaluado un programa de enseñanza en dos trabajos para mejorar las habilidades del pensamiento crítico. En su primer trabajo, habían seguido una serie de principios y recursos didácticos, que han seguido utilizando en su posterior estudio, aunque en este segundo estudio han sido complementados por otros. Dentro del programa utilizado, los dos principales cambios realizados en este segundo estudio fueron: una mayor actividad o participación en las tareas de los estudiantes, y la especificidad en el desempeño de esas tareas.

Para conseguir la implementación de estos cambios, el docente debe dedicar más tiempo para dirigir y orientar el trabajo de los estudiantes y menos tiempo en la solución de los problemas planteados. También se deben elaborar rúbricas específicas para cada una de las tareas o problemas que se plantean.

Este recurso didáctico hizo que los estudiantes se enfrenten a los problemas siguiendo las indicaciones especificadas en el método. En consecuencia, su actividad en el aula sería enfocado y bien orientado.

Una vez finalizado el segundo estudio, obtuvieron como consecuencia que, una mejora en el pensamiento crítico puede ser obtenida por medio del diseño de una instrucción que dirija los factores que realmente inducen al cambio. (Saiz, C.; Rivas, S. F. y Olivares, S., 2015).

El estudio realizado por Pérez-Peñalver, se centra en el contexto del primer curso de estudios universitarios de carreras técnicas, concretamente en una asignatura de matemáticas. En este estudio, la autora argumenta las posibles reticencias a la introducción en el aula de las dinámicas de trabajo colaborativo en los primeros cursos, estas reticencias son debidas principalmente al importante número de alumnos por clase, también a la inexperiencia de los alumnos y por último a la inercia y la resistencia a los cambios de la propia institución.

La autora del estudio es partidaria de que los beneficios que supone el trabajo colaborativo se deben proyectar a más largo plazo y que es mejor empezar a trabajar con este sistema desde los primeros cursos.



La utilización de métodos colaborativos permite al alumno aprender la importancia de planificar, organizar el tiempo, evaluar y reflexionar sobre la tarea realizada, además de permitir una evaluación continua y formativa.

La implantación del sistema consigue que los estudiantes empiecen a adquirir muchas de las habilidades y destrezas transversales que necesitarán dentro de su andadura académica y profesional. (Pérez-Peñalver, M. J., 2013).

Morales, T. M.; Bang, E. Jin y Andre, T., presentan trabajos colaborativos dirigidos por los propios estudiantes. Dado que la clase no tenía profesor, el aprendizaje se produjo principalmente a través de las interacciones entre los estudiantes. Se trata de describir esas interacciones y cómo influyeron en el desarrollo del proyecto, el aprendizaje y el comportamiento de los estudiantes.

Los estudiantes interactúan y colaboran en clase, las normas y patrones socio-culturales que surgieron influyeron en el desarrollo de una comunidad de aprendizaje.

La descripción del aprendizaje de los estudiantes, se vio representado por el contenido de los proyectos de realidad virtual que ellos mismos desarrollaron.

Se analizaron los proyectos para identificar los conocimientos académicos adquiridos, la comprensión y las habilidades de resolución de problemas presentados en ellos. En particular, se centraron en la identificación de la comprensión de los estudiantes en materias científicas en los proyectos que se realizaban, y también a través de sus discusiones sobre dichos proyectos (Morales, T. M.; Bang, E. Jin y Andre, T., 2013).

(Hong, J. C.; Yu, K. C. y Chen, M. Y., 2011) describen como la aplicación del trabajo colaborativo reduce errores, facilita el trabajo y el aprendizaje. En su experiencia los equipos de trabajo tienen discrepancias a la hora de cerrar las definiciones, y el docente juega un importante papel.

No se encuentra un gran número de experiencias de trabajo colaborativo en proyectos técnicos. En relación a los distintos estudios realizados en otras áreas, algunos autores como (Kyndt, E. et al., 2013) recomiendan implantar esta metodología en materias relacionadas con la ingeniería.

Ferrera, C.; Fernández, J. y Marcos, A. C., argumentan lo que es puesto de manifiesto por muchos investigadores, en relación con el modelo clásico de enseñanza-aprendizaje utilizado en la enseñanza universitaria, modelo eminentemente expositivo que dificulta una correcta asimilación de conceptos en asignaturas de carácter eminentemente práctico. La utilización de un modelo de Aprendizaje Colaborativo permite mejorar los logros, persistencia y actitudes del estudiante.

Los autores de este trabajo ponen en práctica el modelo de Aprendizaje Colaborativo en la enseñanza de la realización del diseño y dimensionado de insta-

laciones industriales, con el objetivo de lograr que los alumnos egresados puedan enfrentarse a los problemas a la hora de realizar proyectos de ingeniería.

La metodología que han utilizado en este trabajo ha sido mixta entre los métodos expositivos, de aprendizaje basado en proyectos y de aprendizaje colaborativo, estas metodologías se utilizaron para la enseñanza de proyectos de instalaciones de uso industrial.

En la conclusión de su estudio, han comprobado que las prácticas no tienen que estar totalmente dirigidas, sino que el alumno puede aportar creatividad, aprendiendo a utilizar los medios informáticos que necesite en su actividad profesional. Una revisión semanal de cada grupo con el docente, se observa suficiente, para conseguir los objetivos.

Otra de las conclusiones de este estudio, recaba la importancia de premiar el sobreesfuerzo temporal que realizan los estudiantes cuando se ponen en marcha experiencias de este tipo. (Ferrera, C.; Fernández, J. y Marcos, A. C., 2013)

Otros estudios realizados: (Guraya T. et al. 2013), (Sancho-Thomas, P.; Fuentes-Fernández, R. y Fernández-Manjón, B., 2009), inciden en que el aprendizaje basado en proyectos motiva más el aprendizaje en los estudiantes, ayudándoles a comprender mejor los conocimientos propios de la materia y desarrollar mejor las competencias específicas. El desarrollo de este tipo de aprendizaje permite trabajar las competencias transversales, así como la elaboración de otras actividades, y establecer criterios de evaluación de las mismas. (Guraya T. et al., 2013).

Los investigadores Rodríguez Montequín, V. et al., insisten en la enseñanza centrada en el estudiante mediante la asignación de proyectos. Los estudiantes tienen que realizar proyectos significativos y hacer frente a las condiciones de trabajo realistas, generalmente se hace por grupos de estudiantes que trabajan juntos hacia una meta común (Rodríguez Montequín, V. et al., 2013).

Petrosino, A. J., presenta una propuesta en la implementación de los planes de estudios basados en proyectos, considerando el objetivo de un proyecto, el desarrollo de los alumnos de forma independiente, la creación de una comunidad de alumnos, una naturaleza cíclica de la formación con énfasis conceptual y comprensión de procedimientos, así como la utilización de la experiencia colaborativa (Petrosino, A. J., 2004).

En un estudio realizado en el MIT (Boston, USA) por Lipson, A. et al., se presenta un programa de una comunidad de aprendizaje basado en proyectos de un año en el MIT. Los estudiantes analizan un problema desde una perspectiva multidisciplinar. Los objetivos del trabajo implicaban ayudar a los estudiantes a



desarrollar su formación de equipos, comunicación, resolución de problemas y habilidades de aprendizaje de autorregulación.

El programa les ayudó a realizar mejoras significativas en su capacidad para trabajar en equipo y asumir problemas complejos y multidisciplinarios (Lipson, A. et al., 2007).

La enseñanza colaborativa es factible para instructores (personal de formación no docente) y docentes en formación. Esta es una de las conclusiones de un estudio realizado por (Zhou, G.; Kim, J. y Kerekes, J., 2011), en el que intervinieron docentes en formación e instructores. Para los instructores, esta enseñanza colaborativa fue un proceso de aprendizaje recíproco en el que estaban involucrados, pensando en la enseñanza de una manera más amplia e innovadora. Los instructores aprendieron como enseñar colaborando entre sí, ampliando conocimientos a los ya adquiridos. Los instructores aprendieron el uno del otro en una colaboración recíproca. Para los docentes en formación, este curso de colaboración no sólo les ayudó a entender cómo tres temas diferentes podrían ser relacionados entre sí, sino que también brindó oportunidades para poder ellos ver realmente y experimentar cómo la colaboración podría tener lugar en la enseñanza. Su comprensión de la enseñanza colaborativa mejoró después del curso (Zhou, G.; Kim, J. y Kerekes, J., 2011).

Una aproximación a la enseñanza colaborativa fue implementada entre dos instructores para desarrollar una mayor coherencia curricular, con el intento de reducir la fragmentación y estimular el aprendizaje de los procesos matemáticos y los cursos de instrucciones tecnológicas. Esta investigación fue realizada por dos instructores que colaborando, en base a la necesidad de ayudar a sus estudiantes a realizar conexiones dentro de sus diferentes cursos, y documentar su progreso en forma de portafolios electrónicos (e-portfolios).

Los instructores, habían observado y recibido retroalimentación constante de los estudiantes anteriores a la implementación de la enseñanza colaborativa, estos estudiantes hacían frente a una sobrecarga en la preparación de los diferentes ePortfolios para los distintos cursos dentro del mismo programa.

La enseñanza colaborativa provocó la necesidad de racionalizar los resultados del aprendizaje, reduciendo la fragmentación, estimulando el aprendizaje, incluyendo una proposición de trabajos y requerimientos para los programas de estudio. Se obtuvo una total satisfacción con los resultados del aprendizaje en las colaboraciones, sugiriendo extender su implementación. (Junor Clarke, P. A. y Kinuthia, W., 2009).

El ePortfolio se puede considerar un recurso pedagógico con el objetivo de poder evaluar, documentar un aprendizaje, curriculum, etc. Mediante él, se puede establecer un espacio virtual donde se reflejen las realizaciones tanto personales como académicas, pudiéndose incluir una valoración de esas actividades.



El ePortfolio permite al docente planificar un proceso de enseñanza aprendizaje, en el que se reflejen las actividades desarrolladas, realizándose por parte de otros estudiantes y del docente los comentarios oportunos, la recopilación de esta información y una posterior reflexión, va a permitir evaluar el resultado obtenido. (Gallego, D. et al., 2009).

Los cursos de emprendedores usan comúnmente diversas técnicas de trabajo en grupo, aprendizaje cooperativo, círculos de estudio y equipos de estudio. El mayor reto de esta pedagogía es la valoración imparcial de los miembros del grupo a partir de la responsabilidad de su rendimiento individual dentro del grupo. Hackbert, P. H., en su artículo proporciona una mejora a usar en la responsabilidad de los estudiantes entre pares para obtener valoración de su rendimiento individual dentro de un equipo de emprendedores, de tal manera que permita asignar de forma equitativa la valoración.

En el desarrollo de este trabajo Hackbert, P. H, define un equipo empresarial como varias personas que se unen para crear valor en un producto o servicio en un tiempo de 15 semanas de duración. Estos equipos pueden estar trabajando para un cliente externo o como un grupo convocado para desarrollar un proyecto específico.

Los estudiantes de pregrado distribuidos en equipos suelen aprender mejor cuando su participación es activa, principalmente en grupos pequeños. A esta forma de enseñar, se la ha denominado de diferentes formas, existiendo diferencia entre ellas, las denominaciones son las siguientes: comunidades de aprendizaje, Aprendizaje Colaborativo, aprendizaje colectivo, aprendizaje cooperativo, aprendizaje entre iguales, enseñanza entre pares, aprendizaje recíproco, aprendizaje en equipo, círculos de estudio, grupos de estudio y grupos de trabajo. Se puede considerar que existen tres tipos generales de trabajo en grupo: grupos informales de aprendizaje, grupos de aprendizaje formal, y los equipos de estudio (Hackbert, P. H., 2004).

Los grupos informales de aprendizaje, son grupos formados por el docente para una situación puntual y un tema puntual, suelen ser grupos pequeños, como mucho de cinco estudiantes.

Los grupos de aprendizaje formal, son grupos más duraderos, pueden estar trabajando hasta varias semanas, y se establecen para resolver problemas, proyectos, experimentos, etc.

Los equipos de estudio, se establecen para un período de tiempo prolongado, dentro de los equipos hay miembros estables, que se ocupan principalmente de apoyar y motivar al resto de los miembros del equipo.



Hackbert, P. H., concluye en su investigación que la evaluación por pares es una metodología apropiada para identificar las actuaciones individuales (Hackbert, P. H., 2004).

Katariina P. en su estudio sobre el desarrollo de competencias empresariales en los docentes, expone como el Aprendizaje Colaborativo mejora las competencias empresariales de ellos, mejorando también, la forma de su enseñanza empresarial, utilizando el aprendizaje colaborativo. (Katariina P., 2015)

Ortega Valera, A.; Llorca Martínez, J. y Aznar Jiménez, M., en su trabajo nos indican el proceso seguido para la implantación del proyecto integrado en tercer curso de los Grados en Ingeniería Mecánica e Ingeniería Electrónica Industrial y Automática, así como analizar los resultados y sus conclusiones.

En un proyecto integrado se desarrollan amplios contenidos y competencias, permitiendo al alumno a desarrollar competencias transversales, como el uso de las TIC, la expresión tanto escrita como oral, así como implementar el aprendizaje colaborativo a través de los grupos formados, fomentando con ello la iniciativa y la creatividad.

A pesar del carácter motivador que supone la realización de un proyecto integrado, esto para el alumno supone un esfuerzo y dificultad mayores, que se compensa con la metodología utilizada y el trabajar en una situación similar a la real, que va a ser la que se encuentre el alumno una vez concluido su aprendizaje. Este método supone para el docente una revisión constante tanto de objetivos como de metodologías y evaluaciones, consiguiendo dentro del equipo docente la colaboración y búsqueda de nuevas estrategias de aprendizaje. (Ortega Valera, A.; Llorca Martínez, J. y Aznar Jiménez, M., 2013).

Otra experiencia colaborativa, utilizando un Aprendizaje Colaborativo a través de grupos de trabajo, es la realizada por Buenestado, P. y Rodríguez Pérez, A. C., en la Universidad Politécnica de Cataluña (UPC), utilizando medios disponibles en esa Universidad, para adaptarse a los nuevos grados del plan de Bolonia. La UPC dispone de una plataforma virtual moodle denominada ATENEA, que utilizan tanto docentes como estudiantes en las diferentes asignaturas y durante el desarrollo del curso académico. Como en otros casos de moodle, el docente cuelga a principios del curso la programación de la asignatura, con los temas y trabajos a realizar. Es interesante para su eficacia, que los datos colgados en la plataforma tengan un diseño sistemático y permita realizar un aprendizaje colaborativo a través de grupos establecidos.

Según Buenestado, P. y Rodríguez Pérez, A. C., para que este planteamiento sea efectivo, el calendario propuesto debe ser bastante explícito, y de un cumplimiento muy estricto (Buenestado, P. y Rodríguez Pérez, A. C., 2013). Guerra Torrealba, L. R. en su tesis sobre el comportamiento de los estudiantes en actividades colaborativas en internet, indica que la composición de los grupos puede establecerse aleatoriamente, siempre que se establezca una estrategia de



evaluación que haga prevalecer la ayuda y la colaboración entre los miembros del grupo (Guerra Torrealba, L. R., 2012).

En la actualidad, los videojuegos están comprendidos dentro de los sistemas educativos, el diseño de estos juegos utiliza recursos didácticos que resultan interesantes para los estudiantes. En este sentido, Muñoz González, J. M.; Rubio García, S. y Cruz Pichardo, I. M., han realizado un estudio con el objetivo de recoger opiniones dentro de los estudiantes sobre las diferentes herramientas utilizadas en el diseño de videojuegos, siguiendo el aprendizaje de estas herramientas un modelo colaborativo.

Los resultados del estudio demuestran que los estudiantes valoran muy positivamente la utilización del modelo de Aprendizaje Colaborativo para controlar el diseño de herramientas utilizadas en el diseño de videojuegos (Muñoz González, J. M.; Rubio García, S. y Cruz Pichardo, I. M., 2015).

El modelo de Aprendizaje Colaborativo basado en proyectos sirve para la creación de un entorno de aprendizaje, y genera el desarrollo del pensamiento en los estudiantes (Jamal, A.; Essawi, M. y Tilchin, O., 2014). La naturaleza colaborativa del aprendizaje basado en proyectos, hace que sea un método ideal para utilizar en la educación interprofesional, en cursos sobre el entrenamiento de docente en el área de la salud. La naturaleza colaborativa del aprendizaje basado en proyectos se correlaciona estrechamente con la enseñanza de metodologías de seminarios de equipos interprofesionales (L'Ecuyer, K. M.; Pole, D. y Leander, S. A., 2015).

(Thongkoo, K. y Thongkhu, C., 2015) estudian distintas metodologías de trabajo colaborativo (Round Robin, Numbered-heads-together, Jigsaw, Think Pair Share), mediante el soporte de herramientas on-line, para el análisis y diseño de estructuras. Evalúa la aplicación de metodologías colaborativas mediante cuestionarios a los alumnos, revelando un alto interés de los estudiantes, por el uso de estas técnicas.

Se desarrollan metodologías de enseñanza-aprendizaje colaborativas que tienen como base la resolución de problemas en proyectos, utilizando entornos virtuales de trabajo en las asignaturas de proyectos en ingeniería. Un ejemplo es el desarrollado por García Carrillo, A. y su equipo, en el que se cambian los roles del docente, pasando en esta nueva metodología a una figura de docente de entorno, una figura principalmente de carácter virtual. Con esta nueva metodología aumentan el número de horas dedicadas por parte del docente, pero tiene como contraprestación el beneficio de conseguir que los alumnos adquieran los conocimientos de la asignatura y desarrollen habilidades de proyectista virtual, con una gran capacidad de colaboración y de gestión del conocimiento. En su opinión, se consigue una total autonomía por parte del alumno (García Carrillo, A. et al., 2006).



La redacción de un proyecto se realiza normalmente por un equipo, que aporta soluciones a los distintos planteamientos, estas soluciones surgen gracias principalmente a las interacciones de todos sus miembros.

En la docencia en proyectos, para la redacción de un proyecto, se requiere adquirir una serie de conocimientos técnicos que se pueden impartir de una manera tradicional en los fundamentos teóricos de la asignatura. En el caso práctico, en la aportación de soluciones a la resolución de los casos concretos que se plantean durante la redacción del proyecto, se pretende que cada alumno aporte a través de un Aprendizaje Colaborativo, sus conocimientos para poderlos debatir con sus pares y de esta forma generar una solución a los casos planteados. Este conocimiento adquirido, le va a permitir al alumno obtener una percepción del problema particular y convertirlo en genérico (Blasco, J. et al., 2002).

La redacción de proyectos suelen ser experiencias colaborativas, para la docencia en proyectos se vuelve necesario el aprender de una manera colaborativa. Esta forma de aprendizaje se acrecienta en el caso de la no presencia en el aula, aunque esta situación no afecta al resultado del proyecto, ya que en la actualidad se dispone de medios suficientes para poderlo realizar (Estay-Niculcar; C. A. et al., 2002).

Para la docencia de proyectos de ingeniería, la necesidad del uso de ordenadores se vuelve incuestionable, una aplicación basada en ordenadores personales con conexión a red y con las aplicaciones necesarias es una herramienta necesaria para el trabajo en pequeños grupos en un entorno de trabajo colaborativo (Ferrari Padrós, E.; García Colina, F. y Gassó Domingo, S., 2002).

Desde los primeros desarrollos del Aprendizaje Colaborativo ha existido una estrecha relación con la herramientas de diseño CAD de producto, los medios de fabricación, la toma de decisiones en colaboración y el análisis de soluciones, siendo importante su manejo para alcanzar los objetivos del grupo (Roy, U., 1998) (Boujut, J. F. y Laureillard, P., 2002) (Sujo-Montes, L. E. et al., 2015)

(Hernández-Leo, D. et al., 2007) describen un caso de estudio empleando computer-supported collaborative learning (CSCL) en educación de ingeniería en el contexto de un curso de administración de redes. El caso de estudio muestra que el uso de herramientas software desarrolladas por los autores (libres y de código abierto) proporcionan beneficios significativos a la hora de adquirir competencias, respecto a la metodología tradicional en ingeniería.

Una iniciativa multi-institucional innovadora integrando grupos de estudiantes de diferentes cursos que colaboran en un proyecto de un curso común, es la que han desarrollado Long, S. K. y Carlo, H. J. El proyecto planteado simula una fase de diseño real de un proyecto de ingeniería virtual donde, además de las habilidades técnicas y conocimientos, los estudiantes tienen que colaborar



con grupos funcionales que no comparten el mismo espacio con el fin de lograr su objetivo final, que es completar el proyecto.

El proyecto planteado implica tres distintos dominios del conocimiento en Ingeniería Industrial, como son la ingeniería de gestión, la planificación de la producción, programación y distribución, y el diseño de instalaciones. En este planteamiento se fusiona la colaboración de la enseñanza basada en proyectos, con el aprendizaje virtual, para conseguir el desarrollo de un aprendizaje colaborativo entre universidades. El proyecto se limita a un semestre, simulando un proyecto del mundo real, en tres lugares diferentes.

Durante la implantación se solicitan presentaciones de los trabajos en las que deben de reflejarse la participación de todos los miembros del grupo.

El resultado de esta investigación demuestra que fijar objetivos mejora el rendimiento de los alumnos, aumentando significativamente la eficacia de estos. La conclusión de esta investigación fue que el proyecto integrado proporciona una oportunidad única para que los estudiantes experimenten el ambiente de colaboración real en un mundo de empresa (Long, S. K. y Carlo, H. J., 2013).

Las empresas consideran que las competencias adquiridas, tanto genéricas como específicas, de un egresado en ingeniería tienen dentro del mundo de la empresa una importancia media para el desarrollo de su actividad laboral. Dentro de las competencias genéricas, las empresas demandan: Habilidades en el uso de herramientas y programas informáticos, control del área correspondiente a su actividad, rapidez en la adquisición de conocimientos y la capacidad de trabajo en equipo. Estas competencias se implementan de forma satisfactoria mediante un modelo de Aprendizaje Colaborativo. A nivel de competencias específicas, las demandas se enfocan en las habilidades en el diseño y realización de proyectos, el conocimiento de productos tecnológicos y las nuevas tendencias en tecnología (Martín del Peso, M.; Rabadán Gómez, A. B. and Hernández March, J., 2010).

El trabajo colaborativo está relacionado con las habilidades necesarias en el Curriculum del ingeniero (Martínez-Monés, A. et al., 2005).

(Medina-Domínguez, F. et al., 2015), afirma que los graduados con habilidades en el uso de las herramientas colaborativas tienen más facilidad para incorporarse al mercado laboral, y que las empresas no sólo buscan personas con habilidades colaborativas, sino emplean regularmente herramientas colaborativas en los procesos de selección.



2.3.- Evolución en la realización de los Proyectos

Como ocurre con la mayoría de disciplina en la ingeniería, y especialmente en la ingeniería proyectual, la evolución de las tecnologías y las exigencias del mercado traen consigo la necesidad de implementar nuevas herramientas en la realización de proyectos técnicos. Estas herramientas, siendo una necesidad en el ejercicio profesional, pueden suponer una ayuda en la aplicación de metodologías colaborativas para la formación en proyectos técnicos. Sin olvidar el hecho de que las herramientas son solo una ayuda para poder transmitir los conocimientos necesarios, y un nexo entre la formación teórica y el ejercicio práctico. Dentro de la ingeniería proyectual, en el entorno universitario comienza a hacerse patente que en la educación de los futuros Ingenieros debe estar presente el modelado de información de tecnología BIM, Building Information Modeling, que utiliza una entrega de proyectos integrados (IPD), de tal manera que la demanda profesional y el enfoque de la incorporación de las habilidades en las prácticas educativas debe abordar los problemas y limitaciones que incurren en estas nuevas prácticas.

2.3.1.- ¿Qué es BIM?

Building Information Modeling (BIM) es el proceso de creación y gestión de modelos digitales paramétricos de un edificio (o una parte de la infraestructura) durante el ciclo de vida del edificio (Mom, M.; Tsai, M-H. y Hsieh, S-H., 2014).

No existe un enfoque holístico claro o metodología que sirva para evaluar la adopción en la tecnología de construcción de un modelado de información (BIM) a nivel corporativo. Se proponen enfoques para el desarrollo de factores críticos de éxito que se pueden desarrollar aún más, con el objetivo de lograr la evaluación de la adopción de BIM a nivel organizativo en la arquitectura, ingeniería y la industria de la construcción (AEC).

Teniendo en cuenta una visión general de los factores importantes relacionados con la toma de decisiones, la implementación de tecnología, o los aspectos de una organización para adoptar la tecnología BIM, se encontraron dos factores muy importantes:

- La definición de las metas del proyecto antes de la formación de equipos y la coordinación
- La integración entre las profesiones.

(Tsai, M-H.; Mom, M. y Hsieh, S-H., 2014).

La aplicación BIM no sólo proporciona soluciones que pueden ser adoptadas y desarrolladas en otras organizaciones y contextos que comparten desafíos similares. También proporciona los conocimientos acerca de los problemas y cuellos de botella de la aplicación, de las herramientas complementarias necesarias y de las posibles disposiciones de la organización.

Es por ello que si se documentan bien los planteamientos anteriores, estos ayudaran a evaluar los logros, los problemas y otros factores derivados del uso de BIM. Además se tienen que incluir análisis detallados de las formas de colaboración, formas de intercambio de información, y de los usos de las herramientas a fin de permitir el aprendizaje dentro de la organización.

El aprendizaje expansivo en una organización o en redes de grupos de interés requiere de varios sucesivos ciclos de experimentación a través de los cuales se consiguen nuevas funcionalidades y usos.

No es de extrañar que la producción más desarrollada de sistemas de control en la industria, incluya la “parte estándar” en la que los parámetros y prácticas acordadas y probadas se conservan como estándares y directrices. También, la “parte de un problema” en la que los problemas de producción y preguntas abiertas son estudiados para intentar y experimentar hasta en las soluciones que ya han sido probadas.

De la misma manera, casos de aplicación bien documentados pueden ayudar a mantener las directrices actualizadas e informar del desarrollo de las herramientas y de las prácticas relacionadas con BIM (Miettinen, R. y Paavola, S., 2014).

Las instituciones profesionales, organizaciones y sistemas educativos han comenzado a adoptar herramientas de software BIM y a adaptar sus sistemas existentes para satisfacer la evolución de las necesidades del mercado. Para permitir a los miembros de estas organizaciones, desarrollar sus capacidades en BIM, es importante identificar las competencias BIM que se necesitan aprender, las aplicaciones en el trabajo, y determinar, a todos los efectos, las mejoras en el rendimiento. (Succar, B.; Sher, W. y Williams, A., 2013).

Las herramientas y metodologías de trabajo empleadas en la actualidad en el sector de la construcción no permiten la evolución para hacer frente al mercado de demandas. No habiendo, además, tiempo para la planificación de proyectos para los que se requieren especificaciones más detalladas y además hay que luchar por la eficiencia productiva.



A la luz de esto, resulta esencial el desarrollo y aplicación de métodos de producción que favorezcan el trabajo multidisciplinario, integrado y de colaboración entre los agentes que componen el proceso de construcción.

La tecnología BIM surge como una respuesta a la necesidad de integrar a todos los agentes que participan en el proceso durante las diferentes fases de la realización del proyecto. (Patiño Cambeiro, F. et al., 2014).

2.3.2.- Posibilidades de BIM

BIM ofrece un gran número de ventajas tanto para los proyectistas, constructores y para la propiedad del edificio-industria, abarcando las fases de proyecto, obra y uso del edificio, (ciclo de vida completo).

La utilización de BIM, proporciona, además, una serie de beneficios que aumentan sus posibilidades de uso. Uno de ellos es la capacidad para localizar personas con rapidez y precisión en los edificios, lo cual resulta fundamental para el éxito de las operaciones de respuesta en caso de emergencia de incendio del edificio, contribuyendo a la reducción de los posibles accidentes causados por el fuego.

Se diseña un algoritmo para lograr el doble objetivo de mejorar la precisión de la localización a nivel de habitación y reducir el esfuerzo necesario para desplegar una red de sensores ad-hoc, como la infraestructura de detección es requerida, presumiblemente no disponible en la mayoría de las escenas de emergencia.

El esfuerzo de despliegue se mide por el número de balizas a implementar, y la accesibilidad de la ubicación para desplegar las balizas. El algoritmo propuesto es la construcción de la información del modelado (BIM), donde BIM está integrado para proporcionar la información geométrica de la detección de la zona (Li, N. et al., 2014).

El calendario de ejecución y los dibujos en 2D se utilizan generalmente para la identificación de riesgos en el proceso de planificación de la seguridad de la construcción.

El planificador visualiza dibujos en 2D en un modelo 3D y vincula mentalmente sus componentes con las respectivas actividades definidas en el calendario propuesto en el proyecto, con el objetivo de entender la secuencia de ejecución en la planificación de la seguridad. La secuencia de interpretación y por consi-



guiente la identificación de los peligros varían con el nivel de la experiencia, el conocimiento y la perspectiva individual del planificador de la seguridad.

Por lo tanto, los investigadores sugieren que el uso de cuatro dimensiones (4D) del modelado de información de edificios (BIM) para crear la simulación del proceso de construcción mediante la vinculación con el cronograma de ejecución en el modelo 3D. (Bansal, V.K., 2011).

En un marco para un sistema nuevo de gestión de la seguridad y la visualización (SMV) que integra Building Information Modeling (BIM), en el que se contemplan, el seguimiento de la ubicación, la realidad aumentada (AR), y las tecnologías a utilizar. Dentro de este marco, se han evaluado por expertos en seguridad las potencialidades y limitaciones técnicas de los prototipos SMV.

Los resultados muestran que la SMV tiene un gran potencial para mejorar la identificación de los riesgos de seguridad en el trabajo, aumentar la capacidad de reconocimiento de riesgos de los trabajadores, y mejorar la comunicación en tiempo real entre el director de obra y los trabajadores. (Park, C-S. y Kim, H-J., 2013).

Otra de las posibilidades de BIM es su utilización para mejorar la eficiencia energética de los edificios. La escalada de los costos de energía y la necesidad de mejorar la eficiencia energética han aumentado la conciencia pública sobre la necesidad de reducir el consumo de energía durante todo el ciclo de vida de un edificio, a esta situación debemos añadir los esfuerzos impulsados por “integrar verde”, e iniciativas de construcción sostenible en los procesos de diseño de edificios, construcción y operación convencionales.

Determinados sistemas de clasificación de edificios sostenibles se están adoptando cada vez más para evaluar el rendimiento de la sostenibilidad del diseño de edificios y la construcción. Building Information Modeling (BIM), para la aplicación de estas tecnologías, se considera un vehículo potencialmente útil para hacer el mejor uso de los datos disponibles para el diseño sostenible y el análisis ecológico (Kwok-WaiWong, J. y Kuan, K-L., 2014).

Aunque están surgiendo tecnologías de construcción energéticamente eficientes, un desafío clave consiste en cómo mantener de manera efectiva el rendimiento energético del edificio durante el ciclo de vida. La experiencia de campo muestra que es posible alcanzar un el ahorro de energía de un 30.5% mediante la aplicación de detección y diagnóstico de fallos de energía (FDD).

En los edificios es una tarea difícil, no sólo porque la tarea en sí es compleja, sino también porque el intercambio de flujo de trabajo y la información detrás



de las tareas es muy complejo y propenso a errores. Un sistema (BIM) habilita la información de la infraestructura para FDD, ya que simplifica el proceso de intercambio de información y por lo tanto tiene el potencial de mejorar la eficiencia de obras similares (Dong, B.; O'Neill, Z. y Li, Z., 2014).

Otra posibilidad muy importante es la planificación logística de la construcción. La planificación de la logística de construcción implica la coordinación de las actividades de suministro y su ubicación. Para la integración de las posibles decisiones a tomar, se necesita conocer las dependencias existentes con el objetivo de minimizar el costo y una correcta gestión total de los materiales.

A pesar de las estimaciones preliminares de sus beneficios en la industria de la construcción, algunos contratistas adoptaron la gestión logística debido a la demanda de datos detallados y además para la toma de las decisiones en las operaciones de suministro.

Dentro de la logística aplicada se utiliza BIM para la obtención de datos espaciales, tales como los datos de ubicación, de disposición y geometría del edificio, datos que se reflejan en el modelo de información de edificios (BIM) del proyecto. Dichos datos espaciales, son capturados al analizar el archivo IFC del edificio y, se pueden exportar desde el diseño basado en BIM para aplicaciones de software (Said, H. y El-Rayes, K., 2014).

En un marco integrado de BIM, la construcción de un modelado de información y simulación de eventos discretos (DES), dentro del desarrollo de un modelo realista, se necesita la especificación completa de las interdependencias entre las actividades y los recursos.

Un marco DES-BIM puede hacer una estimación más detallada, teniendo en cuenta la variación en la productividad de los trabajadores, la capacidad de la cadena de suministro y la incertidumbre sobre el emplazamiento de la obra.

El marco también puede ser de utilidad en las clases de diseño y construcción virtual para apoyar a los estudiantes a explorar la relación entre los productos y los procesos en los ejercicios de programación (Lu, W. y Olofsson, T., 2014).

El modelo de información de edificios (BIM) tiene un enorme potencial para mejorar la eficiencia de la construcción y las operaciones de mantenimiento.

Para facilitar la adquisición de datos en los proyectos de reforma de edificios, incluidos los históricos, e integrarlos en la estructura existente para BIM, se puede incorporar, un láser terrestre escáner, que es rápido, fácil de usar, y sin embargo muy preciso. Es un sistema ampliamente empleado en la toma de datos en interiores de edificios (Jung, J. et al., 2014).

2.3.3.- Usos del BIM

La fragmentación de los trabajos es una de las cuestiones clave en el entorno BIM, así como las distintas ubicaciones de los participantes y de los diferentes agentes implicados. Sin embargo, con los avances en Tecnología de Información y Comunicación (TIC), en particular la computación en nube, la fragmentación de los diferentes trabajos, pueden ser potencialmente superables.

La computación en nube ha sido cada vez más popular en los últimos años ya que sigue demostrando que proporciona ventajas sustanciales para distintos usuarios adoptar esta tecnología., estas ventajas están siendo ampliamente discutidas por muchos investigadores y académicos de todo el mundo.

También existen riesgos derivados del uso de la tecnología de la computación en nube, la seguridad es el principal riesgo que supone su uso. (Chong, H-Y.; Son Wong, J. y Wang, X., 2014).

El uso de la documentación del proyecto en formato digital en la construcción se ha asociado con muchas dificultades. Hasta hace poco tiempo, sólo los dispositivos adecuados con tamaño de pantalla razonable eran los ordenadores de escritorio y los portátiles.

Se establecieron en las oficinas y, apenas se han utilizado alguna vez fuera de ellas, casi nunca en el lugar donde se construye.

Las nano pantallas estaban disponibles, pero el tamaño de la pantalla era más bien pequeño y su resolución limitada. Las computadoras tablet, tales como el iPad, están empezando a proporcionar una superficie de pantalla razonable y de buena portabilidad.

Hoy en día el diseño de la documentación se prepara utilizando los programas informáticos y su almacenamiento digitalmente. Una forma avanzada de almacenaje de dicha documentación es la construcción de modelos de información, que pueden contener:



- la información espacial
- el programa de construcción
- el análisis del ciclo de vida, etc.

Pero normalmente, todos los datos se imprimen y se llevan al sitio de construcción en forma de dos dimensiones físicas (2D) para ser utilizados al aire libre donde se realiza la construcción. En la actualidad, la tableta basada en navegadores BIM puede ser utilizada en lugar del papel (Meža, S.; Turk, Ž. y Dolenc, M., 2014).

El uso de BIM puede aumentar la consistencia y la velocidad en la identificación de soluciones de intercambio para las estructuras temporales. Lo ideal sería que la misma estructura temporal (es decir, andamios, apuntalamiento) pueda ser utilizada para apoyar más de una actividad de la construcción, esto minimiza los riesgos derivados de la instalación y desmantelamiento de las estructuras temporales, así como la disminución de los costos derivado de estas actividades, aumentando de esta forma la efectividad. (Kima, J. et al., 2014).

Hay una creciente tendencia de diseño de edificios “verdes” que se basa en las tecnologías y las simulaciones por ordenador basado en el modelado de información (BIM) durante el proceso de diseño.

Equipos de proyectos de construcción ecológica están adoptando cada vez más BIM debido a sus capacidades de análisis y simulación de diferentes escenarios en la fase de diseño, con el objetivo de tomar decisiones apropiadas para lograr los edificios “verdes”. (Lee, Y. S, 2012).

A nivel de explotación del edificio, también los gerentes de instalaciones deben identificar los patrones de fallos causa-efecto con el fin de preparar planes de mantenimiento correctivo y preventivo. Esta tarea es difícil debido a la compleja interacción y a las interdependencias entre diferentes componentes utilizados en su construcción.

La normalización utilizada en BIM ofrece nuevas oportunidades para mejorar la eficiencia de las operaciones de gestión de las instalaciones (Facilities Management), compartiendo e intercambiando la información de la construcción entre las diferentes aplicaciones utilizadas durante todo el ciclo de vida de las instalaciones (Motamedi, A.; Hammad, A. y Asen, Y., 2014).

2.3.4.- Necesidades de formación en BIM

Es ampliamente aceptado que la evolución en el sector de la construcción del modelado de información BIM está afectando cada vez más el papel de los profesionales de la gestión de la construcción, de la arquitectura, de la ingeniería en la construcción (AEC) y de la industria.

La transición de redacción de proyectos en 2D hasta el BIM, es más que un proceso de transformación, afectando también al modo en que la información es manejada por y para los profesionales de la gestión de la construcción.

Enseñar BIM en la ingeniería de la construcción y gestión, requiere más énfasis en el aprendizaje BIM como metodología de mejora de procesos y, no sólo como una tecnología. (Wang, L. y Leite, F., 2014).

Se realizó una encuesta para observar la dinámica en el modelado de información (BIM) en educación universitaria y en su posterior desarrollo profesional.

Los resultados del estudio confirmaron una mejora sustancial en la adopción y aplicación BIM en ambas comunidades, educativa y profesional, y también, la existencia de una brecha entre el rápido crecimiento del mercado de trabajos relacionados con BIM y los estímulos de animación a los estudiantes para comprometerse con una trayectoria profesional orientada al BIM.

La encuesta también evaluó la eficacia de la educación BIM en los colegios profesionales y en las prácticas en la industria del personal con conocimientos de BIM.

Los resultados sugieren que una mayor asociación y más proactiva, podría ser la solución para avanzar en la educación en BIM y la adquisición de talento BIM en la arquitectura, la ingeniería y la industria de la construcción. (Wu, W. e Issa R., 2014).

La industria de la construcción y los programas de ingeniería necesitan introducir cursos BIM que preparen a sus estudiantes con conocimientos y habilidades BIM relevantes, para que sean conscientes de las posibles aplicaciones de BIM en sus futuras carreras en la industria de la construcción y en la mejora de la productividad.

Los estudiantes también aprenderán sobre la importancia de colaborar con los interesados en el proyecto, además de los beneficios y los problemas inherentes a BIM y a su aplicación. (Ahn, Y. H.; Cho, C-S., y Lee, N., 2013).



2.3.5.- Incorporación del BIM en el Sistema Educativo

La industria de la construcción necesita Ingenieros graduados con conocimientos y habilidades en el modelado de información (BIM), además del resto de profesionales pertenecientes al ámbito de la (AEC).

Tomando como base una investigación sobre las necesidades reales de la empresa, se desarrollo un conjunto detallado de 39 temas necesarios para la competencia BIM en la gestión de la construcción, junto con los objetivos específicos para alcanzar dichas competencias.

Un conjunto de directrices para la integración de los temas de BIM en los planes de estudio, han sido desarrolladas y probadas en el Instituto Technion-Israel de Tecnología.

Se planearon las intervenciones de educación BIM en cuatro de los siete cursos, implementados y evaluados durante tres semestres. Los experimentos mostraron que BIM debe introducirse como un tema en sí mismo, pero lo más importante, también como una herramienta para la realización de las tareas de ingeniería que se enseñan en los cursos de diseño, análisis y gestión.

Además, el conocimiento de las habilidades sociales de intercambio de información y gestión del conocimiento, los roles profesionales y el contexto comercial, son tan importantes como los aspectos tecnológicos. (Pikas, E.; Sacks, R. y Hazzan, O., 2013).

Building Information Modeling (BIM) se está convirtiendo en una práctica cada vez más habitual en la industria de la construcción. Las Universidades que ofrecen ingeniería de la construcción y gestión de la educación, deben de incorporar conceptos y habilidades BIM en sus programas de grado. (Sacks R. y Pikas, E, 2013).

Los graduados en ingeniería de la construcción y la gestión de hoy deben tener fuertes habilidades de comunicación y trabajo en equipo; deben tener la capacidad de trabajar de manera eficiente dentro de los equipos yuxtapuestos; y, por último, deben saber cómo aplicar los fundamentos de ingeniería, de gestión y poseer conocimientos de informática en la práctica.

La introducción de BIM en un entorno de colaboración virtual permite a los profesores diseñar un curso que incorpore el uso de escenarios más realistas que simulen mejor los desafíos del mundo real.



Tales experiencias enseñan a los estudiantes cómo se ejecutan los proyectos de construcción en la práctica, también cómo las diferentes disciplinas se basan en otra información, el tipo de información que se necesita de las disciplinas pertinentes, y cuándo y cómo esta información puede ser intercambiada y compartida entre las herramientas y procesos. (Becerik-Gerber, B.; Ku, K. y Jazizadeh, F., 2012).

Los académicos, a través de la demanda de la industria y su participación, están empezando a darse cuenta de que en la educación de nuestros futuros Ingenieros, la construcción del modelado de información de tecnología (BIM), que utiliza una entrega de proyectos integrados (IPD), más la colaboración y el enfoque del diseño tiene que ser una de las prioridades de la educación.

Como resultado, el mundo académico se ve amenazado ahora con la tarea de determinar la forma de desarrollar estas habilidades especializadas en estudiantes de ingeniería de tal manera que la demanda profesional y el enfoque de la incorporación de las habilidades adecuadas en las prácticas educativas se junten para abordar los problemas y limitaciones que incurren en estas nuevas prácticas. (Solnosky, R.; Parfitt, M. K. y Holland, R. J., 2014).

El avance tecnológico en el campo de la coordinación técnica y simulación proporciona nuevos métodos en la construcción BIM, lo que mejorará el proceso de seguridad, calidad y por último pero no menos importante la eficiencia.

La falta de personas capaces de trabajar con un BIM integral es ahora una de las principales barreras para el uso de estas tecnologías en la arquitectura y en la ingeniería. La importancia de la mejora de esta situación no es aplicar la asignatura BIM para enseñar a los estudiantes, sino a "pensar en BIM" en todas las disciplinas relacionadas. (Fridrich, J. y Kubečka, K., 2014).

Se ha utilizado la técnica Delphi para encontrar las maneras de mejorar el plan de introducción BIM en una Escuela de Arquitectura. Para ello, el cuestionario se realiza mediante entrevistas en profundidad a 10 especialistas en BIM.

Se realizó igualmente otra encuesta a otros 30 expertos, y los resultados de la encuesta Delphi fueron los siguientes: El efecto que produce la introducción de BIM es complejo ya que falta sensibilización e información sobre BIM; los problemas surgen de la deficiencia de formación y experiencia en BIM; las utilidades prácticas de BIM son muy útiles; las barreras de la propagación de BIM son debidas al alto costo y, por último, el potencial de desarrollo de BIM es alto. (Seo, D.-S. y Won, H. S., 2014).



2.3.6.- Problemática BIM

Existe una evidencia clara de que la adopción de Building Information Modeling (BIM) está en aumento. Sin embargo, el grado de utilización por los promotores no está claro. Una investigación realizada tuvo como objetivo comprender la experiencia BIM de empresas y promotores en Australia, así como para entender el progreso que han hecho hacia el uso de las características de BIM.

La recogida de datos fue realizada a través de una encuesta realizada en la web de estas empresas, para 180 empresas con 40 respuestas y dos entrevistas en profundidad. Los resultados del estudio muestran que las características BIM no se utilizan fácilmente por este tipo de empresas, debido a las incertidumbres relativas a la integridad de las tres dimensiones (3D), de los modelos emitidos por los diseñadores, de la información incompleta en los modelos, de la falta de conocimientos relativos a los nuevos procesos de negocio para impulsar el uso de BIM, de la falta de demanda por parte de clientes, del costo de la implementación de características BIM dentro de la práctica existente y del tiempo de aprendizaje necesario para adoptar características BIM. (Aibinu, A. y Venkatesh, S., 2014).

En Estados Unidos, EEUU, hace unos años que se comenzó a acuñar el término VDC, (Virtual Design and Construction), lo que vendría a ser diseño y construcción virtual de un edificio/industria.

Bajo el término VDC se ampara el diseño y construcción del modelo virtual de la edificación empleando aplicaciones informáticas que se aproximan al edificio una vez construido, de forma que se pueda simular con la mayor fidelidad los procesos inherentes a la construcción, a su posterior uso y el fin de vida (ciclo completo del edificio).

Dentro de los procesos que incluye la construcción se incluye tanto la secuenciación constructiva, análisis energético, análisis ecológico, análisis de ocupaciones, análisis de incoherencias constructivas (colisiones), análisis de incidencia solar, análisis de evacuación, análisis de impacto visual y ambiental, análisis de costes de construcción, análisis de seguridad, análisis de costes de operación, análisis de viabilidad, la planificación temporal o secuenciación de los diferentes elementos constructivos para su puesta en obra, planificación temporal o secuenciación en operación (mantenimiento preventivo, mantenimiento predictivo, consumos energéticos, reemplazamientos, conservación,...). Además debería ser un elemento base para el desmantelamiento del edificio una vez que ha llegado a la fase de fin de vida del edificio.



Por todos estos motivos, que requieren un amplio equipo de trabajo multidisciplinar y dado que en el ciclo de vida del edificio intervienen distintos profesionales de la rama del proyecto, la edificación, la gestión de los activos, del mantenimiento,... hace que el BIM presente una elevada complejidad. La formación en BIM, debe conseguir que el futuro técnico adquiera una formación suficiente sobre las enormes posibilidades que el modelado tiene y la multitud de sectores, personas e intereses que pueden estar interesados en él.

Se debe huir de la creencia de que el BIM es una “forma de proyectar”, de “proyectar para construir”, y darle el verdadero valor, que no únicamente termina en la construcción del edificio, sino en su gestión e incluso en su demolición (fase de “fin de vida”). Si bien los modelos BIM actuales no se encuentran optimizados para la gestión, constituyen una base ideal sobre la que realizar la parametrización de la gestión.

2.4.- Herramientas de Decisión Multicriterio

La toma de decisiones es el proceso de convertir información en acción. Es un proceso de identificación y formulación de soluciones factibles, evaluación de las soluciones y selección de la mejor solución. Las decisiones pueden ser: estratégicas, administrativas y operativas (Martínez, E. y Escudey, M., 1997).

La toma de decisiones, en un principio se realizaban de acuerdo a un único criterio, considerando tres puntos. Primero, se determinaban las soluciones que se consideraban factibles. Posteriormente, se establecía una preferencia entre ellas y finalmente el uso de algoritmos permitía buscar la solución óptima. La complejidad en la toma de decisiones se incrementa a la hora de definir los criterios y sus valoraciones, esta situación justifica la necesidad de una técnica de decisión multicriterio.

En la actualidad existen diferentes modelos de decisión multicriterio atendiendo al conjunto de alternativas; si este es continuo se pueden utilizar: *La programación Multiobjetivo*. *La programación compromiso* y *La Programación por metas*. En el caso de que el conjunto de alternativas sea discreto, los modelos serían: *Ponderación Lineal (Scoring)*. *La teoría de Utilidad Multiatributo (MAUT)*. *Las Relaciones de Superación*, y *el Proceso Analítico Jerárquico (AHP)*. (González, M. A.; Alba, E. F. y Ordieres, M., 2014).



En el planteamiento de problemas en los que hay que tener en cuenta diferentes criterios y un número determinado de alternativas, Tomas L. Saaty propuso una nueva metodología, el Proceso Analítico Jerárquico (AHP) (Saaty, T.L., 1980).

El Proceso Analítico Jerárquico (AHP), se utiliza para obtener escalas de valoración entre pares de comparaciones discretas y continuas. Estas comparaciones pueden ser tomadas de mediciones reales o de una escala fundamental que refleja la fuerza relativa de las preferencias y sentimientos.

Tiene fundamentada sus aplicaciones más amplias en la toma de decisiones multicriterio, la planificación y la asignación de recursos en la resolución de conflictos.

En el uso de la AHP para modelar un problema se necesita una estructura jerárquica o una red para representar ese problema y las comparaciones por pares para establecer relaciones dentro de la estructura. Utilizando las comparaciones por pares (criterio a criterio; subcriterio a subcriterio; alternativa a alternativa), podemos determinar la importancia e influencia de los factores que componen el problema, podemos emitir juicios de valor que permiten comparar con la misma escala criterios cuantitativos y cualitativos.

Además el AHP permite verificar la consistencia de los juicios de valor, aportando mayor seguridad en la toma de la decisión más apropiada (Saaty, R. W., 1987).

Normalmente se realizan tres tipos generales de juicios para expresar la importancia, la preferencia, o la probabilidad y se utilizan para elegir la mejor entre las diferentes alternativas en la presencia de las influencias ambientales, sociales, políticas y otras. Se basan estos juicios en el conocimiento, en la memoria y en el análisis de los beneficios, costos y riesgos.

Desde el conocimiento pasado, a veces podemos desarrollar estándares de excelencia y pobreza y se utilizan para evaluar las alternativas de una en una. Esto es útil en situaciones repetitivas tales como la admisión de estudiantes y los aumentos salariales que deben cumplir con las normas establecidas. Sin normas se comparan las alternativas en lugar de calificarlas. Las comparaciones deben caer en un rango admisible de consistencia.

El proceso analítico jerárquico (AHP) incluye tanto la clasificación y los métodos de comparación. La racionalidad requiere del desarrollo de una estructura jerárquica fiable, de la red de retroalimentación que incluye criterios de varios tipos de influencia, de los interesados y de las alternativas de decisión para determinar la mejor opción (Saaty, T.L., 1994).



2.4.1.- ¿Cómo estructurar un problema de decisión?

Quizás la tarea más creativa en la toma de una decisión es elegir los factores que son importantes para esa decisión. En el Proceso Analítico Jerárquico se organizan esos factores. Una vez seleccionados, se establece una estructura jerárquica descendente, en la que se reflejan los criterios, subcriterios y alternativas en diferentes niveles sucesivos (Saaty, T.L., 1990). AHP ha sido ampliamente utilizado en distintos campos, encontrándose en la literatura científica distintas revisiones que agrupan sus aplicaciones por áreas (Kaya, T. y Kahraman, C., 2011) (Rosenbloom, E. S., 1997), o también mostrando su actual grado de desarrollo y relación con otras técnicas (Banuelas, R. y Antony, J., 2004) (Carlucci, D. y Schiuma, G., 2009).

2.4.2.- AHP en el método de decisiones en grupo

Para la evaluación de las alternativas se plantea un proceso analítico jerárquico (AHP) en grupo como herramienta de decisión multicriterio. Esta herramienta adaptada para la toma de decisiones en grupo implica 7 pasos: Planteamiento y Modelado del Problema: Meta y Jerarquía, Comparación de criterios: Comparación por Pares en Matrices, Cálculo de Prioridades, Agregación de los Juicios y Prioridades Individuales, Análisis de Consistencia, Juicio y Análisis de Consenso del Grupo y Agregación Global: Ranking de Alternativas.



2.4.2.1.- PASO 1. Planteamiento: meta y jerarquía

En este paso se estructura el problema de decisión en un árbol con distintos niveles, formulando un modelo hierático. El nivel superior será el objetivo, seguido de los criterios, sub-criterios y alternativas.

2.4.2.2.- PASO 2. Comparación de criterios: comparación por pares en matrices

En este paso se generan las matrices de comparación por pares de los criterios y sub-criterios con respecto al objetivo para cada uno de los participantes. Para realizar estas comparaciones es necesario contar con una escala de calificación (Judgement Scale). Es habitual emplear una escala lineal de 1 a 9 (Saaty, T.L., 1977).

2.4.2.3.- PASO 3. Cálculo de prioridades

Para el cálculo de las prioridades de cada criterio y sub-criterio de comparación respecto al juicio de cada participante existen distintas alternativas. Siguiendo la bibliografía se puede plantear utilizar el método de la media geométrica de la fila (RGMM) (Crawford, G. y Williams, C., 1985) (Escobar, M. T.; Aguarón, J. y Moreno-Jiménez, J. M., 2004), variante del método the logarithmic least squares (LLS) (De Jong, P., 1984). RGMM es un método muy utilizado (Ishizaka, A. y Labib, A., 2011), siendo más adecuado para la agregación ya que satisface directamente la homogeneidad (Escobar M. T. y Moreno-Jiménez J. M., 2006).

Dada la matriz NxN de comparación por pares $A=a_{ij}$, aplicando el método RGMM, las prioridades w_i , se obtienen mediante la siguiente ecuación (1) donde n representa el número de criterios y a_{ij} la componentes i j de la matriz de comparación por pares A:

$$w_i = \frac{\left(\prod_{j=1}^n a_{ij} \right)^{\frac{1}{n}}}{\sum_{i=1}^n \left(\prod_{j=1}^n a_{ij} \right)^{\frac{1}{n}}} \quad (1)$$

2.4.2.4.- PASO 4. La agregación de los juicios y prioridades individuales

El proceso clásico AHP se debe adaptar para la toma de decisiones teniendo en cuenta los distintos juicios individuales de los participantes. Se propone una agregación matemática. Por un lado es necesario realizar la agregación de juicios individuales (AIJ) y por otro calcular las prioridades de la matriz consolidada resultante $C = c_{ij}$. Con todas las matrices de juicios individuales se construye la matriz de consolidación. Dicha matriz recoge la opinión de todos los participantes.

Esta agregación de los juicios individuales de cada participante está basada en el método de la media geométrica ponderada de los elementos de la matriz de decisión, utilizando las prioridades (pesos) individuales de cada participante (Aull-Hyde, R.; Erdogan, S. y Duke, J. M., 2006). De este modo las componentes c_{ij} de la matriz consolidada se calculan mediante la ecuación (2), donde $a_{ij(k)}$ representa la componente ij de la matriz de comparación del decisor k y w_k la prioridad obtenida para el decisor k :

$$c_{ij} = \exp \frac{\sum_{k=1}^n w_k \ln a_{ij(k)}}{\sum_{k=1}^n w_k} \quad (2)$$

Para obtener las prioridades para la matriz de consolidación w_{ij}^c se emplea el método RGMM.

2.4.2.5.- PASO 5. Análisis de consistencia.

El análisis de consistencia de cada una de las matrices de comparación por pares (A) se puede realizar mediante el cálculo del índice de consistencia geométrico (GCI) (Alonso, J. y Lamata, T., 2006). Dicho índice se calcula mediante la ecuación (3) donde n representa el número de criterios, a_{ij}^k la componente ij de la matriz de prioridad A del decisor k (matriz $A^{[k]}$), w_i^k y w_j^k las prioridades obtenidas mediante la ecuación 1 para el decisor k :

$$GCI A^{[k]} = \frac{2}{(n-1) \cdot (n-2)} \sum_{i < j} (\log a_{ij}^{[k]} - \log w_i^k + \log w_j^k)^2 \quad (3)$$

Por último se evalúa la consistencia de la matriz consolidada utilizando la misma fórmula, empleando los resultados obtenidos para la matriz consolidada y el vector de prioridad consolidado. Se puede tomar como valor umbral aceptable de inconsistencia para GCI, tal y como describen Alonso, J. y Lamata, T. (2006), los valores: 0.3147 para $n = 3$, 0.3526, para $n = 4$ y 0.370 para $n > 4$, donde n representa el número de criterios.

2.4.2.6.- PASO 6. Juicio y análisis de consenso del grupo:

En la literatura científica se encuentran distintos índices para la evaluación del consenso, como el índice de consenso geométrico cardinal (GCCCI) (Dong et al., 2010) definido mediante la ecuación (4) para la matriz A del decisor k ($A^{[k]}$), siendo n el número de criterios:

$$GCCCI A^{[k]} = \frac{2}{(n-1) \cdot (n-2)} \sum_{i < j} (\log \tilde{e}_{ij}^{[k]})^2 \quad (4)$$

Donde $\tilde{e}_{ij}^{[k]}$ se calcula como se indica en la ecuación (5), donde $a_{ij}^{[k]}$ representa el valor ij de la matriz A de comparación para el decisor k ($A^{[k]}$), w_i^c y w_j^c representan las componentes i y j del vector de prioridad obtenido para la matriz consolidada $A^{[c]}$:

$$\tilde{e}_{ij}^{[x]} = a_{ij}^{[k]} \frac{w_j^c}{w_i^c} \quad (5)$$

Así como el índice de consenso geométrico ordinal GOCI planteado por (Dong et al., 2010), calculado mediante la siguiente ecuación (6), donde n representa el número de criterios, $A^{[k]}$ la matriz de comparación para el decisor k , v_i^k representa la posición que el criterio i ocupa en el vector de prioridad local w^k para el decisor k correspondiente a la matriz $A^{[k]}$, y v_i^c representa la posición que el criterio i ocupa en el vector de prioridad global w^c para la matriz consolidada $A^{[c]}$:

$$GOCl(A^{[K]}) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |v_i^k - v_i^c| \quad (6)$$

Tal y como plantean (Dong et al., 2010) se toma como límite para la inconsistencia un valor del índice $\geq 2/n$ donde n es el número de criterios (ecuación 7).

$$\forall GOCl(A^{[K]}) \geq \frac{2}{n} \quad (7)$$

En la actualidad existe interés en poder evaluar el consenso, incluso sin la intervención del decisor. En el campo de aplicación de la presente tesis podría ser interesante poder contar con un solo índice de fácil interpretación y cálculo.

2.4.2.7.- PASO 7. Agregación global: ranking de alternativas

Una vez calculadas las prioridades normalizadas de la matriz consolidada es habitual adoptar una agregación aditiva. De este modo se priorizan las alternativas de menor a mayor puntuación (ecuación 8).

$$P_i \equiv \sum_{j=1}^n w_j^c \cdot l_{ij} \quad (8)$$

Donde P_i representa la puntuación global obtenida para la alternativa i , w_j^c representa el valor de la componente del vector consolidado obtenido para la matriz consolidada $A^{[c]}$ para el criterio j , y l_{ij} representa el valor (puntuación) que la alternativa i tiene respecto al criterio j .



2.5.- Análisis crítico del Estado del Arte

Analizando los puntos considerados en el estado del Arte, se puede considerar que:

Respecto a la impartición y realización de proyectos dentro de los planes de estudio, se observa que siempre ha tenido una gran importancia dentro de la formación en la Ingeniería Industrial. En los últimos planes dentro del Espacio Europeo de Educación Superior (EEES), se aprecia que el tiempo concedido a las asignaturas de proyectos ha disminuido notablemente. Esta situación obliga a los docentes a plantearse un nuevo modelo educativo para que el alumno consiga las competencias que debe adquirir. Competencias que, por otra parte, vienen reflejadas en dichos planes de estudio.

Ante la implantación de los nuevos planes de estudio del EEES, el Consejo de Coordinación Universitaria abogaba por una reforma del modelo educativo, que no debe quedarse en una mera reconversión de la estructura y contenidos de los estudios, sino que debe alcanzar al modelo de la actividad universitaria, que radica en la interacción docentes-estudiantes para la generación de aprendizaje (Consejo de Coordinación Universitaria, 2006).

Para conseguir implantar estos objetivos formativos es muy importante la investigación científica debido al elevado ritmo de desarrollo de la ciencia y la técnica, que hace que los docentes tengan que reaccionar de manera creativa ante los problemas de mayor actualidad e importancia.

Desarrollar el pensamiento científico es una de las finalidades de la Educación Superior y es responsabilidad de todas las disciplinas que conforman una carrera. Entre las funciones principales de un docente universitario está su capacidad para utilizar formativamente los resultados del trabajo de investigación.

La participación y la interacción de los estudiantes es esencial para mejorar los resultados académicos. La interacción entre los estudiantes y el docente, influye en el proceso de trabajo por parte de los estudiantes respecto a la toma de decisiones, y cómo estas se apoyan en diversos tipos de conocimientos. La puesta en común de conocimientos y experiencias consiguen que los trabajos se ajusten más a las necesidades planteadas.

Para la puesta en común de conocimientos, es necesario integrar las herramientas que nos proporcionan las Tecnologías de la Información y la Comunicación (TIC) en el aula por parte de los docentes, para ayudar a los estudiantes a desarrollar estas nuevas habilidades, tanto dentro como fuera del aula.



La realización de estas actividades dentro de la clase puede ser considerada como un elemento importante en los entornos de aprendizaje de los estudiantes, dentro de la cual los estudiantes son apoyados para participar en la discusión, las pruebas y la práctica de los procesos de razonamiento necesarias. En el aula, el aprendizaje se convierte en un proceso de transformación de la participación, en la que tanto los docentes como los estudiantes brindan apoyo y orientación en los esfuerzos de aprendizaje compartido.

Hay que tener en cuenta que en los planes de estudios, en la materia relativa a proyectos técnicos en las Escuelas de Ingeniería, los créditos asignados a las asignaturas de proyectos, disminuyen cada vez que se modifica el plan de estudios. Esto va en contra de las exigencias por parte de las normativas y nuevas tendencias en el mundo del proyecto.

Cada vez se exige que el proyecto esté más definido en la fase de redacción, para que la fase de ejecución sea más rápida y, como consecuencia, más económica a la vez que más segura.

En la actualidad no se entiende la redacción de un proyecto sin un documento relativo al Estudio de Seguridad, en el que se reflejan las medidas de seguridad que se deben llevar a cabo en el proceso de ejecución de un Proyecto.

Se exige también mayor definición a la hora de proyectar. Los análisis de los diseños se valoran desde distintas perspectivas (ecodiseño, análisis del ciclo de vida, ergonomía, marcado CE).

Desde un punto de vista crítico, a la vista de la información obtenida, resulta de gran interés elegir una metodología que pueda ser utilizada como modelo para la impartición de las asignaturas de proyectos.

La utilización de una metodología colaborativa presenta una serie de ventajas: Implica activamente a los estudiantes; permite que los estudiantes aprendan unos de otros, fomentando el aprendizaje continuo de cada uno de los ellos; fomenta la responsabilidad individual, la académica a nivel de grupo, y la social, implicándose en el aprendizaje de sus compañeros. También prepara a los estudiantes para el desarrollo de su futura actividad profesional, aportando a los estudiantes competencias de trabajo en grupo que se valoran mucho en las empresas, competencias que van a servir al estudiante a enfrentarse a los diferentes problemas de una manera colaborativa.

Estas ventajas, podrían ayudar a resolver el nuevo escenario que se presenta para la impartición de materias proyectuales en Ingeniería Industrial. Son pocas las experiencias relacionadas con las enseñanzas de materias proyectuales de



Ingeniería Industrial, encontrándose la mayoría de los ejemplos de aplicación en sectores relacionados con las telecomunicaciones, electrónica o informática.

Un modelo de aprendizaje colaborativo representa un cambio importante respecto a la tradicional clase magistral. Fundamentalmente se transforma el papel protagonista del docente, pasando éste a ser un actor importante dentro de las actividades planteadas dentro de la metodología colaborativa. Este hecho se alinea con lo esperado en la aplicación de las nuevas tendencias metodológicas dentro del EEES.

En el ambiente de Aprendizaje Colaborativo, se potencia el trabajo en equipo de forma activa y participativa, buscando un compromiso del alumno que le pueda ayudar en el desarrollo de sus habilidades sociales, y que le permita aportar una ventaja competitiva en su acercamiento al mercado laboral.

El uso de metodologías activas-colaborativas de enseñanza (resolución de problemas, estudios de casos y simulaciones matemáticas y desarrollo de proyectos) son habituales en la enseñanza de las ingenierías. En las materias de ingeniería es ventajoso el uso de este enfoque en prácticas y seminarios. Para la docencia de proyectos técnicos es interesante la adaptación de una metodología colaborativa en la parte práctica de la materia, y su comparación con la clase magistral.

La adaptación de un modelo colaborativo en la enseñanza de proyectos técnicos industriales, y la evaluación cuantitativa del impacto que dicha metodología genera en la propia enseñanza y también en la percepción del estudiante, permitiría iniciar un camino hacia la correcta asimilación, por parte del estudiante, de las competencias exigidas en materia de proyectos, de acuerdo al nuevo escenario del EEES en el que nos encontramos.

Adaptar y evaluar dicha adaptación requiere de la elección de una serie de variables que tengan incidencia en el éxito de la aplicación de una metodología colaborativa. De lo expuesto en el estado del arte la mayoría de los autores consideran muy importante el tamaño del grupo de trabajo. La mayoría de ellos afirma que se obtiene un mejor resultado cuando el tamaño del grupo es pequeño (número de alumnos que componen el grupo es pequeño). Es necesario evaluar la influencia del tamaño de grupo en la adaptación de una metodología colaborativa en materias proyectuales.

Aunque no se ha encontrado un criterio claro sobre la incidencia de la homogeneidad del grupo, y en relación a las distintas experiencias analizadas, la homogeneidad se puede tener en cuenta en la adaptación de una metodología



colaborativa en materias proyectuales mediante el nivel de conocimientos de los componentes del grupo.

Respecto al contenido del problema planteado, y su complejidad, no existen muchos estudios aplicados en el área de proyectos técnicos. En los problemas que se plantean en materia de proyectos técnicos dentro del campo de la Ingeniería Industrial, es habitual que la resolución del problema presente más de una solución, complicando la colaboración y necesitando una metodología de consenso. Evaluar la adaptación de una metodología colaborativa para proyectos técnicos requiere tener en cuenta esta variable.

En un primer acercamiento, las variables: tamaño de grupo, dificultad de la tarea, contenido de la tarea, y homogeneidad de grupos (nivel de formación del grupo) pueden ser utilizadas para evaluar la adaptación de una metodología colaborativa en los proyectos de ingeniería. Sería interesante evaluar la influencia de estas variables, en la calidad de trabajo realizado por los alumnos, el tiempo de entrega y la satisfacción del alumno, para poder evaluar la mejora en la adquisición de las competencias exigidas en la materia de proyectos industriales.

Se puede destacar, que los problemas existentes en la aplicación de la metodología colaborativa dentro del ámbito de interés del trabajo planteado, están relacionadas con la definición de los grupos de trabajo, la estructura y programación y contenido del trabajo requerido y el rol alumno-docente. Se ha observado también la importancia de la evaluación del éxito del uso de esta metodología, como un tema actual y de interés.

El uso de las TIC permitirá un aprendizaje más autónomo, no suponiendo actualmente una barrera para el alumno. Es necesario en la adaptación de una metodología colaborativa estructurar las tareas a desarrollar, con la ayuda de las TIC.

La evolución actual en el mundo del proyecto conlleva una revolución a la hora de proyectar. Actualmente se está cambiando el modelo de proyectar hacia un entorno integrado, que permite una comunicación rápida y directa con todos los integrantes del equipo de proyecto en todas las tareas que se ejecutan en dicho proyecto. Este enfoque, con un carácter claramente colaborativo, requiere de nuevas herramientas informáticas para su materialización, cambiando el modelo que hasta ahora se utiliza.

La incorporación del BIM (building information modeling) a la hora de proyectar, cambia la idea de proyecto que venimos utilizando desde siempre. BIM es el



proceso de generar y manejar información acerca de un edificio o instalación durante todo su ciclo de vida.

Esta información se crea y maneja en una base de datos inteligente y tridimensional, que se mantiene actualizada en tiempo real con cada cambio que se efectúa en el proyecto.

Este entorno de diseño tridimensional permite evaluar y pre-visualizar las soluciones y sus implicaciones en distintas áreas de manera simultánea, y analizar aspectos más allá de las formas, reduciendo los vacíos de información de los equipos y aportando información para la toma de decisiones.

Los proyectistas españoles cada vez son más conscientes de que este sistema estará implantado en un futuro. Una vez que las administraciones se den cuenta de las ventajas que ofrece este sistema, exigirán que los proyectos que gestionen las administraciones públicas, se elaboren mediante este sistema de modelado BIM. Alguna administración española ya está experimentando la realización de sus proyectos en BIM (Congreso Internacional BIM., 2014).

Esta situación se debe de trasladar a las Universidades para que establezcan dentro de sus planes de estudio este tipo de formación. Evaluar una primera implantación de BIM dentro de una metodología colaborativa para la docencia de proyectos técnicos permitiría seguir avanzando según las exigencias actuales. Por otra parte, las nuevas herramientas ayudan a mejorar el aprendizaje y a motivar a los alumnos. El enfoque colaborativo que plantea BIM puede ser una ventaja para la docencia en proyectos técnicos, pero tiene que ser evaluada dentro de la adaptación de un método colaborativo, y observar la influencia que pueda tener en relación al rendimiento de las herramientas informáticas.

Durante el planteamiento de las tareas a realizar en materia de proyectos técnicos, tal y como se ha comentado anteriormente, la utilización de una metodología adecuada nos dará como resultado diferentes alternativas para la resolución de los problemas planteados. Esta situación obliga a adoptar un sistema que nos permita determinar la decisión más adecuada al problema propuesto. Esto denota la necesidad de una metodología de consenso (inherente al proceso colaborativo) que facilite un rol muy activo del docente, y le dote de una herramienta que permita una transparencia en la medida del grado de consenso.

La toma de decisiones a utilizar, constituye un proceso de identificación y formulación de soluciones factibles, evaluación de las soluciones y selección de la mejor solución. La complejidad en la toma de decisiones se incrementa a la hora de definir los criterios y sus valoraciones. Esta situación justifica la necesidad de una técnica de decisión multicriterio.



En el planteamiento de problemas en los que hay que tener en cuenta diferentes criterios y un número determinado de alternativas, el Proceso Analítico Jerárquico (AHP) es una técnica estructurada para tratar decisiones complejas de interés, dentro de la puesta en práctica de una metodología colaborativa.



Adaptación de Metodologías Colaborativas en la docencia de Proyectos Técnicos

3.- Adaptación de Metodologías Colaborativas en la docencia de Proyectos Técnicos

Se pretende elegir un modelo metodológico colaborativo que permita principalmente la realización de proyectos por parte de los estudiantes de las asignaturas de proyectos técnicos, con una base de conocimientos lo suficientemente importante que sirva para conseguir que la realización de los proyectos cumplan los objetivos para lo que fueron planteados, así como lograr que los estudiantes adquieran la formación adecuada para que puedan desarrollar correctamente sus conocimientos.

La metodología a implementar tiene principalmente un enfoque colaborativo, participativo, activo y estructurado. Se establece la estrategia de incorporación de dicha metodología en los planes de estudio dentro del marco del EEES desde el punto de vista de la incorporación de las nuevas asignaturas relacionadas con la formación en proyectos, teniendo en cuenta la necesidad de conocimientos por parte del alumnado para poder desarrollar y comprender dichas asignaturas.

La metodología que se propone y analiza en este trabajo, es el fruto de un exhaustivo análisis y diseño de estrategias integradas con los métodos pedagógicos complementarios para la creación de un sistema de aprendizaje apropiado.

El objetivo fundamental de la aplicación de una metodología colaborativa para la formación en proyectos técnicos es conseguir que todos los participantes adquieran los conocimientos dentro de los problemas planteados, de una forma coordinada, y en el caso de la utilización de esta metodología dentro de la formación académica, no se produzcan abandonos en el proceso formativo.

Las consultas y los problemas puntuales que puedan darse, se resuelven para que los participantes con ciertas dificultades sigan en el proceso de aprendizaje establecido, y si bien, se resuelven sus dudas de carácter técnico en las horas dedicadas a tal efecto, o bien en consultas por cualquiera de los medios existentes (correo electrónico, documentación de borradores de trabajo en la nube....).

En el ámbito académico, para resolver las dudas, se pueden utilizar las horas dedicadas a tutorías por parte del docente y también las consultas como en el caso anterior. Todo ello con el objetivo de conseguir la unidad de actuación en los distintos trabajos propuestos, para no interferir en el avance del sistema que se está desarrollando.



Una vez asimilada esta nueva metodología por parte de los participantes, éstos colaboran de una manera positiva y se establecen, no sólo dentro de las clases los debates sobre los problemas planteados, si no también fuera de ellas. De este modo, empiezan a afrontarse los problemas de una manera personal, y entienden que la colaboración entre todos ayuda a su resolución y a su pronta comprensión, eliminándose las reticencias existentes con los anteriores sistemas. Sistemas más inhibidores de la exposición de opiniones y conocimiento.

La metodología, comprende el análisis y priorización de todas las alternativas planteadas como soluciones propuestas, realizadas por los diferentes grupos. Cada grupo aporta su evaluación técnica según los estándares establecidos para la resolución del problema. Dichos estándares son establecidos como referencia en la realización de cada una de las soluciones. La priorización de soluciones se realizará teniendo en cuenta el grado de consenso del grupo.

Esta metodología consigue que todos entiendan que se trabaja por la ampliación del conocimiento conjunto y la mejora de las relaciones interpersonales, entendiendo que el trabajo en conjunto aporta a la mayoría una serie de ventajas que de otra forma llevarían un mayor tiempo y esfuerzo conseguirlas (el aprendizaje avanza rápidamente).

El proceso rápidamente se asume por parte de los participantes por la ventaja que representa la adquisición rápida de conocimientos y la seguridad de que las futuras aportaciones mejoran considerablemente el trabajo a realizar.

3.1.- Contextualización y Planteamiento del Análisis.

La metodología colaborativa utilizada constituye en sí un sistema de aprendizaje activo colaborativo (SAAC), en el que el participante es parte activa en su propio proceso de aprendizaje, y el conocimiento se adquiere mediante trabajo en grupo, en modo colaborativo. Su implantación en las asignaturas de proyectos técnicos es el objetivo de esta tesis. Dentro de estas asignaturas se pretenden desarrollar una serie de competencias según se establece en los descriptores de los planes de estudio.

De las competencias a adquirir por parte de los estudiantes, esta metodología podría dar mejor respuesta a las siguientes competencias:

Competencias generales:

- Capacidad para resolución de problemas (CG6)
- Capacidad de razonamiento crítico/análisis lógico (CG7)

- Capacidad para aplicar los razonamientos a la práctica (CG8)
- Capacidad para diseñar y desarrollar proyectos (CG10)
- Capacidad para el manejo de especificaciones técnicas y la elaboración de informes técnicos (CG15)

Competencias específicas:

- Cultura del proyecto: capacidad de adaptar la creatividad, las herramientas metodológicas y los conocimientos adquiridos a la resolución de problemas de diferente índole, relacionados con el desarrollo de producto.
- Gestión proyectual e innovación.
- Aplicar y dominar conocimientos culturales, tecnológicos y de comunicación.
- Comprender y aplicar conocimientos de Tecnologías de la Información.
- Realización de proyectos de diseño y desarrollo industrial.
- Capacidad para planificar las fases de desarrollo de un producto a nivel conceptual.
- Capacidad para planificar las fases de desarrollo de un producto a nivel de detalle.
- Capacidad para el manejo de especificaciones técnicas y la elaboración de informes técnicos.
- Capacidad de proyectar, visualizar y comunicar ideas.
- Comprender y aplicar conocimientos de seguridad y salud laboral
- Aplicar normas, reglamentos y especificaciones de obligado cumplimiento.

Es necesario adaptar una metodología colaborativa dotada de un conjunto de herramientas TIC, así como de un conjunto de variables y sus estándares para poder evaluar las distintas alternativas que surgen en el desarrollo del trabajo en grupo, y poder consensuar las decisiones grupales.

Para la realización de un análisis de la incorporación de la metodología colaborativa descrita, se plantean los siguientes pasos:

- Elección y estudio de las variables que pueden tener influencia en los resultados de la implantación de una metodología colaborativa. Esto permitirá definir elementos básicos en el modelado de la adaptación de una metodología colaborativa en materias proyectuales



- Elección de criterios y función de valor para el análisis del comportamiento de la metodología colaborativa implementada frente a otras opciones.
- Con la ayuda de los 2 pasos anteriores, analizar los resultados obtenidos en relación a las competencias que en las asignaturas de proyectos se pretenden desarrollar, así como también, los que se obtienen al incorporar la metodología colaborativa frente a la clase magistral.

Con estas premisas, la aplicación de este sistema de aprendizaje, como adaptación de una metodología colaborativa, puede aportar las siguientes prestaciones:

- Posible uso como sistema de aprendizaje
- Posible aplicación a distintas áreas de conocimiento
- Posible aplicación en diferentes campos educativos y profesionales
- Integración con los métodos convencionales
- Aplicación del aprendizaje colaborativo con revisión del profesor o responsable
- Adquisición de habilidades del trabajo en equipo, del aprendizaje autónomo y en la toma de decisiones

3.2.- Adaptación de una metodología colaborativa en materias proyectuales

El diagrama de la figura 4 representa el proceso propuesto para la adaptación de una metodología colaborativa (en adelante SAAC) en materias proyectuales. La figura 4 representa cada una de las etapas a seguir para su implementación en el aula, y el orden de ejecución de cada una de las etapas planteadas. El proceso se basa en un planteamiento cíclico.

El primer paso consiste en el planteamiento integral del problema a resolver. El responsable de proyecto plantea dicho problema, presentando y estableciendo los criterios de decisión a utilizar en la posterior evaluación y priorización de

soluciones (ejemplo: si se tratase de la redacción de un proyecto, se plantearía el proyecto por completo, las fases de ejecución para su realización, el orden de realización de éstas y el contenido de cada fase).

Dentro de este primer paso y en una segunda etapa se establecen los grupos de trabajo, según el modelo que se desarrolla en el siguiente punto de este apartado, y se elige también por consenso al coordinador de todos los grupos, que será quien coordine las distintas informaciones aportadas por los diferentes grupos.

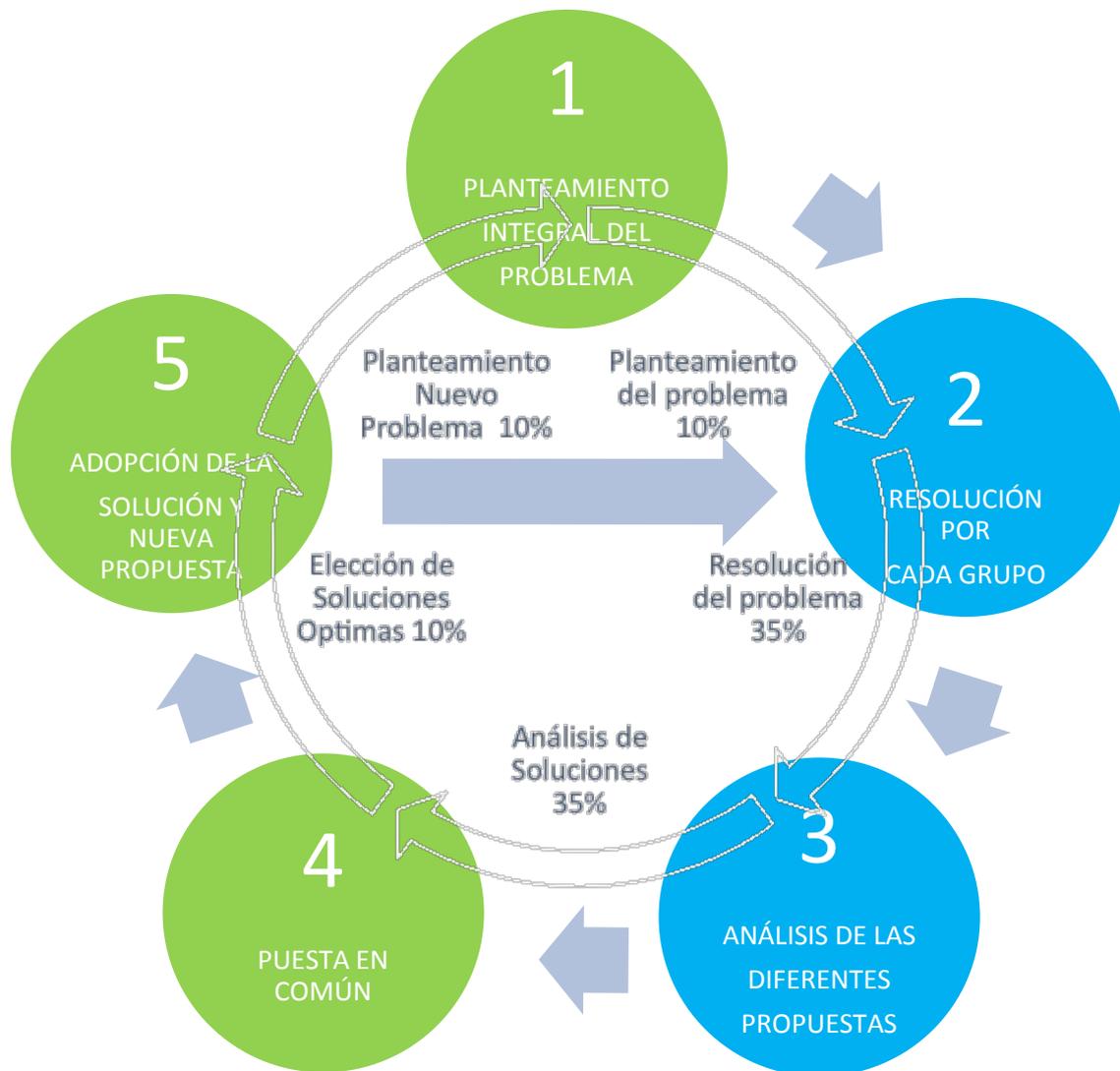
En un segundo paso, cada grupo estudia, crea, resuelve y aporta su solución de forma individual, con los criterios establecidos en el primer paso y lo deposita en la plataforma seleccionada para su posterior consulta por el resto de los grupos.

Dentro del tercer paso, todos los grupos analizan las diferentes propuestas depositadas en la plataforma seleccionada y, analizan las soluciones técnicas aportadas por cada grupo, depositando en la plataforma las distintas sugerencias obtenidas del análisis de los diferentes trabajos.

En un cuarto paso, se realiza una puesta en común, tanto de las soluciones aportadas por cada grupo, como por las sugerencias aportadas, con la coordinación del responsable del proyecto, y se analizan tanto las propuestas como las sugerencias, de acuerdo a los criterios establecidos en el primer paso, adoptando posibles soluciones definitivas a cada propuesta.

En un quinto paso, se analizan las soluciones definitivas de cada propuesta, adoptando cuales son las mejores soluciones aportadas, que se adaptan a los criterios establecidos.

Dentro de este paso y como finalización del ciclo, se plantea un nuevo problema por parte del responsable del proyecto, hasta la resolución total del proyecto. La figura 4 muestra las etapas descritas junto a su duración para una clase tipo. Un curso está compuesto por 15 sesiones tipo de 2 horas cada una. La ponderación para la evaluación del curso es: 20% para las 15 sesiones, 20% para la defensa de la memoria del proyecto y 60% para la evaluación de dicha memoria.



TRABAJO INDIVIDUALIZADO

TRABAJO EN COMÚN

Figura 4. Proceso de ejecución de la metodología colaborativa. Duración de cada tarea dentro de una clase tipo.

3.2.1.- Incorporación de las TIC: TIC utilizadas dentro de la metodología planteada

La aplicación de la metodología utilizada, se favorece enormemente con la incorporación de las nuevas herramientas y métodos de trabajo. La herramienta utilizada será Moodle y también se utilizará otras herramientas como Dropbox o similares.

Dentro de la formación académica universitaria en la actualidad, teniendo en cuenta el marco europeo del EEES, las herramientas tienen una relevancia interesante, como facilitadoras del proceso de enseñanza-aprendizaje de los estudiantes.

En la docencia de una materia tan compleja como es Proyectos, tanto en su contenido relativo a los múltiples aspectos de diferente índole que abarca, como en la interrelación de los mismos para lograr asimilar el objetivo de dicha materia, las TIC son una herramienta necesaria e imprescindible, para lograr aplicar esta metodología, que exige una coordinación muy importante entre profesor y especialmente alumnos, de una forma eficiente y sencilla.

Es por ello, que se plantea íntimamente relacionada con la metodología, la herramienta y procedimiento de uso que se requería para este caso.

Dicha herramienta, seleccionada tras un proceso de estudio y análisis, ha sido Moodle, por ser una plataforma suficientemente testada e integrada en la plataforma web de la Universidad.

Moodle presenta características propias que se requieren para aplicar el sistema planteado, tales como: disponibilidad, capacidad, flexibilidad, agilidad y robustez suficientemente demostradas, que la hacen la herramienta TIC adecuada para este sistema.

Los estudiantes universitarios tienen un gran dominio de las nuevas tecnologías, y especialmente de las TIC, que ellos perciben como una forma de realizar sus estudios y tareas encomendadas en las diferentes materias incluidas en su formación.

Este dominio por su parte de las TIC, aparte de la elevada motivación que suelen tener por su uso, hacen que el empleo de las mismas para el aprendizaje de Proyectos mediante la metodología planteada, no requiera una habilidad añadida en el manejo de las TIC, puesto que ya lo han adquirido.



La utilización de este tipo de herramientas dentro del sector de la empresa, puede contar con la limitación de la seguridad en la documentación utilizada en ellas. En estos casos, se pueden utilizar herramientas propias del sistema informático de la empresa.

Se plantea incorporar las siguientes TIC:

- La nube como plataforma de intercambio de ficheros de trabajo, en los casos de:
 - Documentos del proyecto solicitados.
 - Sugerencias y aportaciones a los documentos de los diferentes grupos.
 - Mejora de los documentos tras el estudio de las aportaciones de los diferentes grupos.
- Moodle: herramienta integrada en la web de la Universidad, en la que se cuenta con toda la documentación que se proporciona a los miembros de los diferentes grupos.
 - Documentos en pdf
 - Fotografías y esquemas
 - Legislación
- E-mail: medio por el cual se resuelven las consultas y dudas puntuales.
 - Consultas de aspectos técnicos específicos
 - Revisión de documentos
- Enlaces con otras direcciones web (urls)
 - Organismos públicos
 - Empresas privadas
 - Boletines oficiales
 - Legislación
 - Guías

3.2-2.- Elección y evaluación de criterios: Priorización de decisiones en grupo.

Durante el primer paso de aplicación de la metodología se establecerán, por parte del responsable del proyecto, una serie de criterios a tener en cuenta para la aportación de soluciones por parte de los diferentes grupos.

Para realizar el posterior análisis de las distintas soluciones aportadas por cada grupo, con la utilización del sistema de aprendizaje propuesto, se utilizarán un conjunto de criterios establecidos que permitan a través de su evaluación respecto a distintos estándares, clasificar cada una de las soluciones elegidas (etapa 3). Estos criterios permitirán analizar la solución en el corto, medio y largo plazo. La figura 5 muestra como criterios elegidos: Productividad, Seguridad, Ergonomía, Mantenimiento, Calidad, Diversidad, Retorno de la Inversión, Sostenibilidad, Inversión y Fidelización del cliente (Figura 5)



ROI (Retorno de la Inversión)

Figura 5. Conjunto de criterios de evaluación de alternativas

La evaluación de dicho criterios es necesario realizarla mediante la utilización de distintos subcriterios, empleando las herramientas y los estándares adecuados, tal y como se resume en las tablas 35 y 36. En todo caso, estos estándares se definirán según la particularidad del proyecto planteado.



Criterios	Sub-criterios	Herramientas	Estandares
Ergonomía (C ₁)	Postura(E ₁)	Simulación Virtual 3D	Análisis Ergonómico Postural (NERPA) (Simulación)
	Ruido y Vibraciones (E ₂)	Conocimiento Interno	Procedimiento Interno (RD. 330/2009) (RD. 1367/2007) (Ley 5/ 2009) (RD. 1038/2012)
	Visibilidad (E ₃)	Simulación Virtual 3D	Procedimiento Interno (RD 486/1997) Normas UNE.
	Accesibilidad (E ₄)	Simulación Virtual 3D	Procedimiento Interno (NTP 226, 1989)
	Manejo de Cargas (E ₅)	Simulación Virtual 3D	Ecuación NIOSH (Simulación Virtual)
Seguridad (C ₂)	Daños por Calor (S ₁)	Simulación Virtual 3D	Contacto e Interferencias (Simulación)
	Daños Eléctricos (S ₂)	Simulación Virtual 3D	Contacto e Interferencias (Simulación)
	Daños Mecánicos (S ₃)	Simulación Virtual 3D	Contacto e Interferencias (Simulación)

Tabla 35. Establecimiento de criterios, subcriterios, herramientas y estándares 1.

NTP (Norma Tecnológica protección)

Ecuación NIOSH (Calcula el peso límite recomendado)

Criterios	Sub-criterios	Herramientas	Estandares
Sostenibilidad (C ₃)	Eficiencia Energética (S _{S1})	BIM / Conocimiento Interno	Procedimiento Interno (Ley 2/2011) Normas UNE- ISO
	Emisiones (S _{S2})	BIM / Conocimiento Interno	Procedimiento Interno NORMAS UNE
	Mejora en las Condiciones de trabajo (S _{S3})	BIM / Conocimiento Interno	Procedimiento Interno (Reglamento CE, Nº 1111/2005) (NTP 911, 2011)
	Eficiencia (S _{S4})	BIM / Conocimiento Interno	Procedimiento Interno NORMAS UNE
Inversión (C ₄)		BIM / Conocimiento Interno	Procedimiento Interno
Retorno de la Inversión (C ₅)		Conocimiento Interno	Procedimiento Interno
Productividad (C ₆)		BIM/Simulación Virtual 3D	Tiempo de Ciclo (Simulación)
Mantenimiento (C ₇)		BIM/Simulación Virtual 3D Conocimiento Interno	Accesibilidad a Nivel de subsistema (Simulación) Procedimiento Interno NORMAS UNE-ISO Mantenimiento
Diversidad (C ₈)		BIM / Conocimiento Interno	Procedimiento Interno
Calidad (C ₉)		BIM / Conocimiento Interno	Procedimiento Interno Normas UNE-ISO
Fidelización del cliente (C ₁₀)		BIM / Conocimiento Interno	Procedimiento Interno

Tabla 36. Establecimiento de criterios, subcriterios, herramientas y estándares 2.



3.2.3- Priorización de alternativas. Decisión en grupo

La priorización de las alternativas se debe realizar considerando la opinión de todos los miembros del equipo de proyecto. Para la elección de la solución ideal (etapa 4) para el problema planteado, se utiliza como herramienta de decisión un proceso analítico jerárquico (AHP) (Saaty, T.L., 1980). Se evalúa el grado de consistencia (Escobar, M.T.; Aguarón, J. y Moreno-Jiménez, J.M., 2004) (Alonso, JA y Lamata, MT, 2006) y el de consenso. Para este último se plantea realizar el análisis con el método gráfico Bland–Altman (Bland, J.M. y Altman, D.G., 1999). Para ello se analiza el orden de prioridad obtenido para cada alternativa, y las distancias entre las componentes del vector de prioridad consolidado y las del vector de prioridad local de cada uno de los decisores, comparando las distancias obtenidas para cada uno de los decisores 2 a 2 en relación con las componentes del vector consolidado.

Como objetivo, se pretende evaluar el grado de consenso teniendo en cuenta un *criterio ordinal* y un *criterio cardinal* (Srdjevic et al., 2013). El primero está relacionado con el orden de prioridad dado por el vector de prioridad para la matriz consolidada y por las matrices de cada uno de los decisores, obtenidas al aplicar el método AHP. El segundo, pretende evaluar las diferencias entre los pesos obtenidos para cada uno de los criterios de comparación, dados por los vectores de prioridad de la matriz consolidada y las matrices de cada uno de los decisores. Este último, se evalúa calculando la distancias entre cada uno de los coeficientes de ponderación de cada criterio para cada par de decisores, en relación con los coeficientes de ponderación obtenidos por el vector de prioridad consolidado.

El proceso para evaluar el consenso se define en 3 pasos:

- Paso 1: Cálculo Criterio Ordinal. En un primer paso se estudia el orden de prioridad obtenido al aplicar los pasos dados por el vector de la matriz consolidada y el vector local de cada uno de los decisores. Si no existen diferencias, se puede considerar aceptable el consenso.
- Paso 2: Calculo Criterio Cardinal. Se analiza mediante el método gráfico comentado, que valores están fuera del intervalo definido por 1,96. La desviación típica de las diferencias entre cada una de las componentes del vector de prioridad obtenido para la matriz de cada decisor, en relación con el vector de prioridad obtenido para la matriz consolidada. Esto se hace calculando la distancia de cada componente del vector de prio-

ridad local de cada uno de los decisores respecto a cada componente del vector de prioridad global (diferencia de componentes). Si las diferencias se encuentran comprendidas en el intervalo descrito anteriormente, y/o no se produce variación en la elección de la alternativa propuesta en primer lugar para cada uno de los decisores, se considera un consenso aceptable.

- Paso 3: Mejora grado de Consenso. En un último paso, se analizan las diferencias y se actúa sobre aquellas que presenten valores fuera del intervalo descrito, a fin de poder asegurar un mayor grado de consenso. Este sería el caso en que no fuera suficiente el criterio anterior o no se cumpliera.

Siendo “m” el número de decisores, “n” el número de alternativas y “k” el número de criterios, se definen el vector D_c que contiene los pesos para cada uno de los criterios k para la matriz consolidada y el vector D_j que contiene los pesos para cada uno de los criterios, para la matriz de cada uno de los decisores (vector local). Las componentes d_i del vector D_j para cada uno de los decisores donde $i=1, \dots, k$ y $j=1, \dots, m$, se calculan como $d_i = d_{cj} - d_{ij}$. Donde d_{cj} son las componentes del vector D_c consolidado para cada uno de los criterios.

Para comparar las diferencias para cada uno de los criterios entre cada uno de los decisores, se emplea el diagrama de Bland–Altman, para observar si cada d_i está comprendido en el intervalo definido por (ecuación 9):

$$d_m - 1,96DC \leq d_i \leq d_m + 1,96DC \quad (9)$$

Donde DC representa la desviación típica y d_m se refiere a la media entre los valores para cada par de decisores que se comparan.

La figura 6 muestra el proceso descrito para la evaluación del grado de consenso (Figura 6).

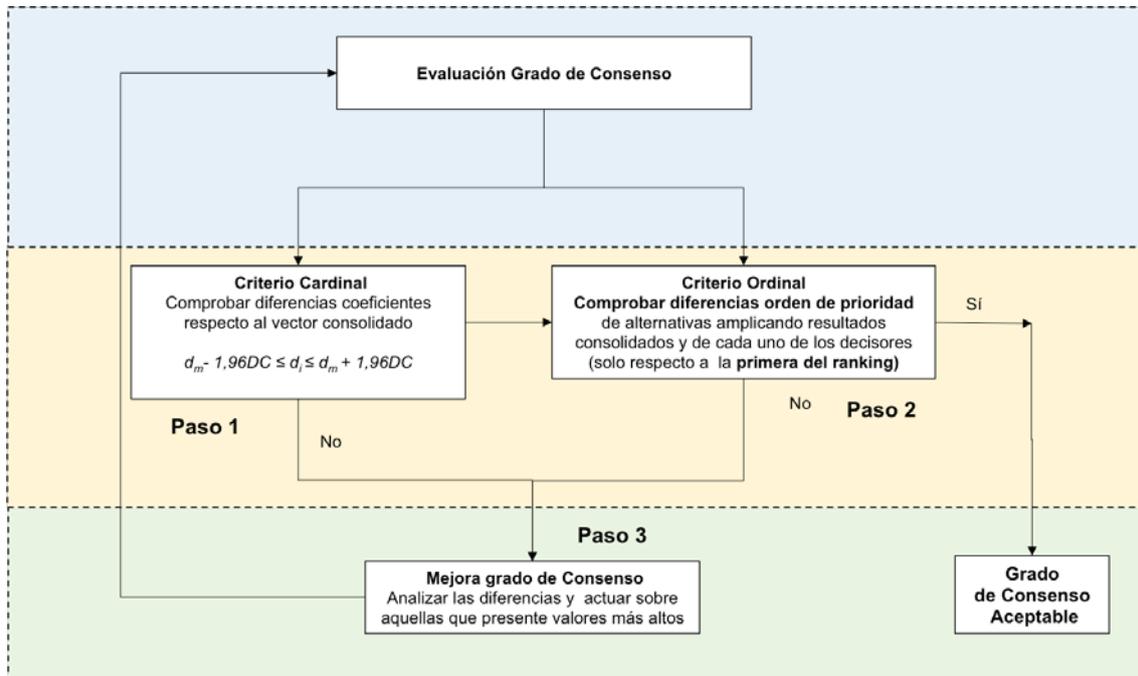


Figura 6. Proceso de evaluación de consenso aplicando los resultado obtenido mediante la metodología AHP, con la ayuda del método gráfico Bland–Altman

3.3.- Elección y estudio de las variables de influencia.

Como refleja la bibliografía científica, la definición de los grupos de trabajo es un elemento clave en el análisis de la metodología. Variables como el número de alumnos, contenidos y dificultad de los trabajos, así como el nivel de formación de los integrantes del grupo, pueden ser de gran importancia para conseguir la utilidad de la metodología. La evaluación de la influencia de dichas variables se puede establecer mediante variables de calidad, plazo de entrega y nivel de satisfacción.

Es necesario evaluar la influencia de las variables citadas, así como su posible interacción, con el objetivo de asegurar un tamaño de grupo adecuado, y poder ver qué variables tienen una mayor influencia en los resultados obtenidos en su aplicación.

Se ha tomado un conjunto de proyectos realizados en un entorno académico, para evaluar la influencia de los siguientes factores: tamaño del grupo (nº de alumnos), contenido del proyecto, y dificultad del trabajo planteado. Se han analizado 32 muestras representativas de un total de 280 obtenidas, en las dis-

tintas asignaturas de proyectos de los distintos planes de estudio. En la tabla 37 se refleja un resumen de las variables y sus niveles (Tabla 37).

Se ha realizado un análisis estadístico mediante una ANOVA multifactorial (Spielgel, M.; Schiller, J. y Srinivasan, R.A., 2012). El modelo permite describir el impacto de los factores en cada una de las variables dependientes. Se realizan pruebas para determinar si hay o no diferencias significativas entre las medias a diferentes niveles de los factores y si hay o no interacciones entre los factores.

Para la construcción del modelo estadístico, se ha utilizado el programa comercial STATGRAPHICS en su versión 16.04 (32 bits). (STATGRAPHICS, 2015).

Se consideran como variables independientes:

- Número de participantes por grupo. Se han elegido dos tamaños de grupos, de 4 y de 2 participantes.
- Dentro de los tipos de proyectos a desarrollar, se han elegido dos tipos: Proyectos de productos-proceso y proyectos de instalaciones e edificaciones industriales.
- Se han elegido dos niveles de dificultad a la hora de la realización del proyecto: Una dificultad baja y una dificultad alta.
- A nivel de conocimientos sobre el proyecto planteado, se han considerado dos niveles de conocimientos ya adquiridos por los integrantes del grupo: Conocimientos bajos y conocimientos altos.

Y como variables dependiente:

- Se ha considerado el tiempo de entrega del trabajo realizado en semanas.
- Se ha tenido en cuenta el nivel de satisfacción reportado por parte de los integrantes del grupo de trabajo. Un nivel de satisfacción bajo o alto.
- Se han tenido en cuenta los resultados de calidad, utilizando la calificación obtenida en el trabajo.

Los siguientes apartados presentan los resultados obtenidos del análisis estadístico planteado. Se muestra la influencia de las variables independientes descritas anteriormente sobre el tiempo de entrega, nivel de satisfacción de los alumnos y la calidad del trabajo presentado.



TAMAÑO DEL GRUPO	CONTENIDOS	DIFICULTAD	CONOCIMIENTOS	TIEMPO DE ENTREGA	SATISFACCIÓN	RESULTADOS DE CALIDAD
4	1	1	1			
2	2	2	2			
INTERPRETACIÓN DE LOS NIVELES POR VARIABLES						
				NIVELES		
Nº ALUMNOS POR GRUPO			4			2
CONTENIDOS			1 (producto)			2 (obra)
DIFICULTAD			1 (baja)			2 (alta)
CONOCIMIENTOS			1 (bajos)			2 (altos)
TIEMPO DE ENTREGA			Tiempo medio en semanas			
SATISFACCIÓN			3-4 (media-alta)			1-2 (baja)
RESULTADOS DE CALIDAD			Valores medios de la nota de alumnos			
EJEMPLO DE DATOS PARA EL ANÁLISIS ESTADÍSTICO						
NÚMERO DE ALUMNOS	CONTENIDOS	DIFICULTAD	CONOCIMIENTOS	TIEMPO DE ENTREGA	SATISFACCIÓN	RESULTADOS DE CALIDAD
4	1	1	1	32	3	7
4	1	2	2	42	4	6
4	1	1	1	40	3	7
4	1	2	1	38	2	6
4	1	2	1	44	2	7
4	1	1	2	32	3	9
4	1	2	1	48	4	7
4	2	1	2	34	4	8
4	2	2	2	36	3	7
4	2	2	2	18	5	7
4	2	1	2	40	4	8
4	2	2	1	22	2	6
4	1	1	2	36	4	7
4	2	2	2	19	4	7
4	2	1	1	48	2	6
4	2	1	1	38	3	8
2	1	1	1	17	4	8
2	1	2	2	22	3	8
2	1	1	1	19	3	9
2	1	2	1	18	5	7
2	1	2	2	16	4	6
2	1	1	2	17	1	8
4	1	2	2	36	4	7
2	2	1	1	18	3	8
2	2	2	1	20	4	9
2	2	2	2	17	5	7
2	2	1	2	20	4	8
2	2	2	1	22	4	7
2	1	1	2	19	3	6
2	2	2	1	22	1	7
2	2	2	1	18	3	8
2	2	1	1	17	4	8

Tabla 37. Variables de influencia planteadas y sus niveles.

3.3.1.- Análisis de varianza para la variable tiempo

El procedimiento elegido, ejecuta un análisis de varianza de varios factores para la variable tiempo. Realiza varias pruebas y gráficas para determinar qué factores tienen un efecto estadísticamente significativo sobre dicha variable. También evalúa la significancia de las interacciones entre los factores. Las pruebas-F (Tabachnick, B. G. y Fidell, L. S., 2007) en la tabla ANOVA (Tabla 38), permitirán identificar los factores significativos. Un p-valor menor de 0,05, refleja un efecto estadísticamente significativo sobre la variable tiempo con un 95,0% de nivel de confianza.

Para cada factor significativo, las Pruebas de Rangos Múltiples dirán cuáles medias son significativamente diferentes de otras. La Gráfica de Medias y la Gráfica de Interacciones ayudarán a interpretar los efectos significativos.

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P	Contribucion (%)
EFFECTOS PRINCIPALES						
A:Tamaño del Grupo	1893,17	1	1893,17	57,73	<0.0001	53,49%
B:Contenidos	52,1578	1	52,1578	1,59	0,2211	1,47%
C:Dificultad	17,91	1	17,91	0,55	0,4681	0,51%
D:Conocimientos	45,2905	1	45,2905	1,38	0,2531	1,28%
INTERACCIONES						
AB	64,0523	1	64,0523	1,95	0,1768	1,81%
AC	50,7077	1	50,7077	1,55	0,2274	1,43%
AD	12,0172	1	12,0172	0,37	0,5514	0,34%
BC	250,029	1	250,029	7,62	0,0117	7,06%
BD	0,535995	1	0,535995	0,02	0,8995	0,02%
CD	13,5144	1	13,5144	0,41	0,5279	0,38%
RESIDUOS	688,714	21	32,7959			19,46%
TOTAL (CORREGIDO)	3539,22	31				

Tabla 38. Tabla ANOVA. Análisis de la varianza para la variable tiempo

La tabla ANOVA descompone la variabilidad de la variable en contribuciones debidas a varios factores. Puesto que se ha escogido la suma de cuadrados Tipo III (por omisión), la contribución de cada factor se mide eliminando los efectos de los demás factores. Los valores-P prueban la significancia estadística de cada uno de los factores. Tal y como refleja el análisis ANOVA (Tabla 38), el factor tamaño de grupo y la interacción Contenido/Dificultad tiene un efecto estadísticamente significativo en la variable tiempo. La contribución de estos factores supone más de un 67%. Un mayor tamaño de grupo provoca un incremento de la variable tiempo.

Los resultados de la media de la variable tiempo para cada uno de los niveles del factor nº de alumnos están reflejados en la figura 7, en la que se muestran los resultados a través de una representación gráfica de medias (Figura 7).

Medias y 95,0% de Fisher LSD

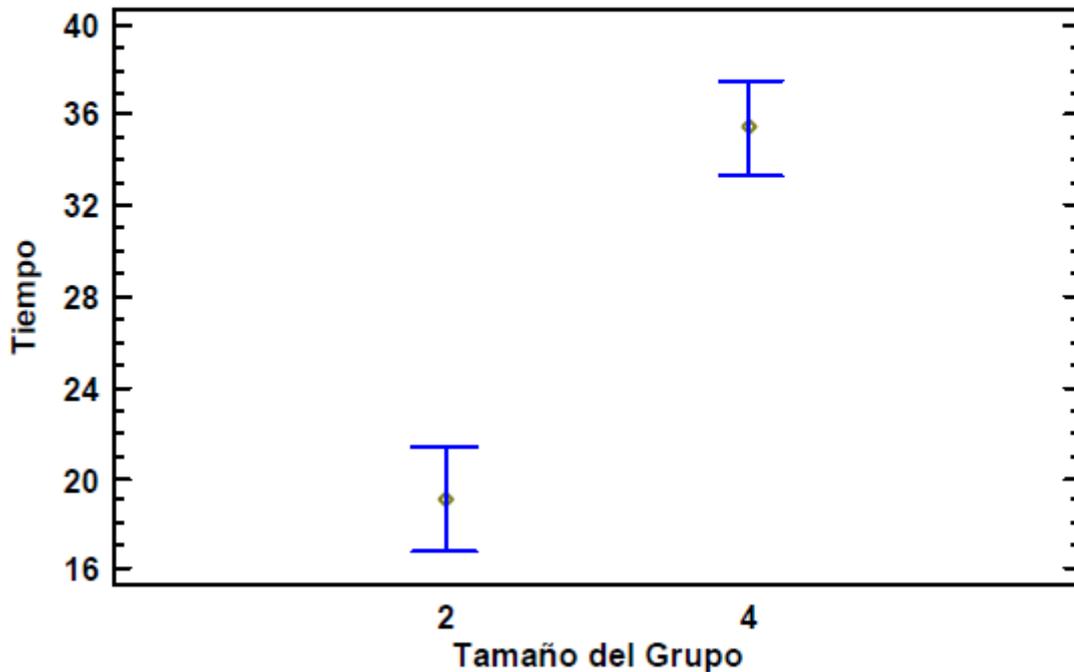


Figura 7. Intervalos de confianza al 95% y valores de media para tiempo

La siguiente tabla (Tabla 39), aplica un procedimiento de comparación múltiple para determinar qué medias son significativamente diferentes. La mitad inferior de la salida muestra las diferencias estimadas entre cada par de medias. Se ha colocado un asterisco junto a 1 par, indicando que este par muestra diferencias estadísticamente significativas con un nivel del 95,0% de confianza. El método empleado actualmente para discriminar entre las medias es el procedimiento de diferencia mínima significativa (LSD) de Fisher. Con este método hay un riesgo del 5,0% al decir que cada par de medias es significativamente diferente, cuando la diferencia real es igual a 0.

Tamaño del Grupo	Casos	Media LS	Sigma LS	Grupos Homogéneos
2	15	19,1169	1,56364	X
4	17	35,4301	1,41315	X
Contraste	Sig.	Diferencia	+/- Límites	
2-4	*	-16,3132	4,46516	

*Indica una diferencia significativa

Tabla 39. Rangos múltiples para la variable tiempo

La figura 8 muestra cómo la influencia sobre la variable tiempo del contenido del proyecto tiene mayor importancia con un nº de alumnos mayor. Para un nº de alumnos dado, se puede observar que la variable tiempo es mayor si el nº de alumnos es mayor. Siendo esta tendencia más acusada cuando el contenido del proyecto es un producto-proceso industrial (Figura 8):

Gráfico de Interacciones

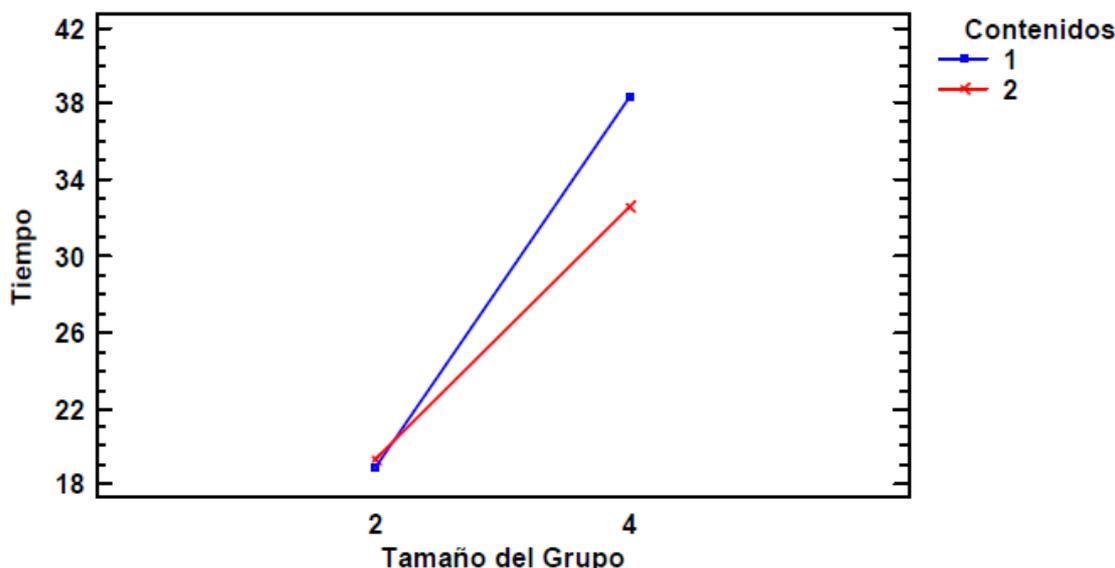


Figura 8. Gráfico de interacciones

3.3.2.- Análisis de varianza para la variable satisfacción.

La tabla 40 ofrece un análisis de la varianza de varios factores para la variable satisfacción (Tabla 40).



Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P	Contribucion (%)
EFFECTOS PRINCIPALES						
A:Tamaño del Grupo	1,19061	1	1,19061	1,43	0,2446	3,58%
B:Contenidos	0,0149374	1	0,0149374	0,02	0,8946	0,04%
C:Dificultad	0,445395	1	0,445395	0,54	0,4721	1,34%
D:Conocimientos	3,33123	1	3,33123	4,01	0,0583	10,03%
INTERACCIONES						
AB	0,540562	1	0,540562	0,65	0,4289	1,63%
AC	1,43124	1	1,43124	1,72	0,2035	4,31%
AD	3,86439	1	3,86439	4,65	0,0428	11,63%
BC	1,35137	1	1,35137	1,63	0,2161	4,07%
BD	5,04557	1	5,04557	6,07	0,0224	15,19%
CD	1,62121	1	1,62121	1,95	0,177	4,88%
RESIDUOS	17,4448	21	0,830705			52,51%
TOTAL (CORREGIDO)	33,2188	31				

Tabla 40. Análisis de la varianza para la variable satisfacción

La tabla ANOVA, como en el caso anterior, descompone la variabilidad de la variable en contribuciones debidas a varios factores. La interacción entre los factores Tamaño de Grupo y Dificultad, junto con Contenidos y Conocimientos, muestran un p-valor menor que 0,05, denotando un efecto estadísticamente significativo sobre SATISFACCIÓN con un 95,0% de nivel de confianza. Dichas interacciones suponen una contribucion superior al 26%.

Medias y 95,0% de Fisher LSD

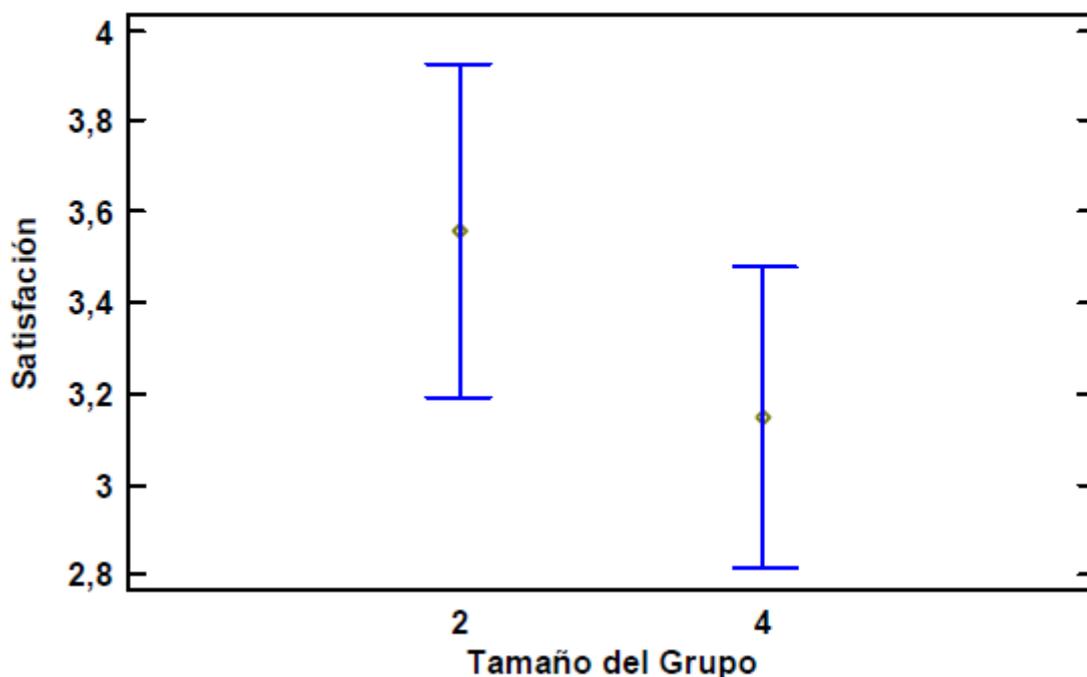


Figura 9. Intervalos de confianza al 95% y valores de media para satisfacción.

Gráfico de Interacciones

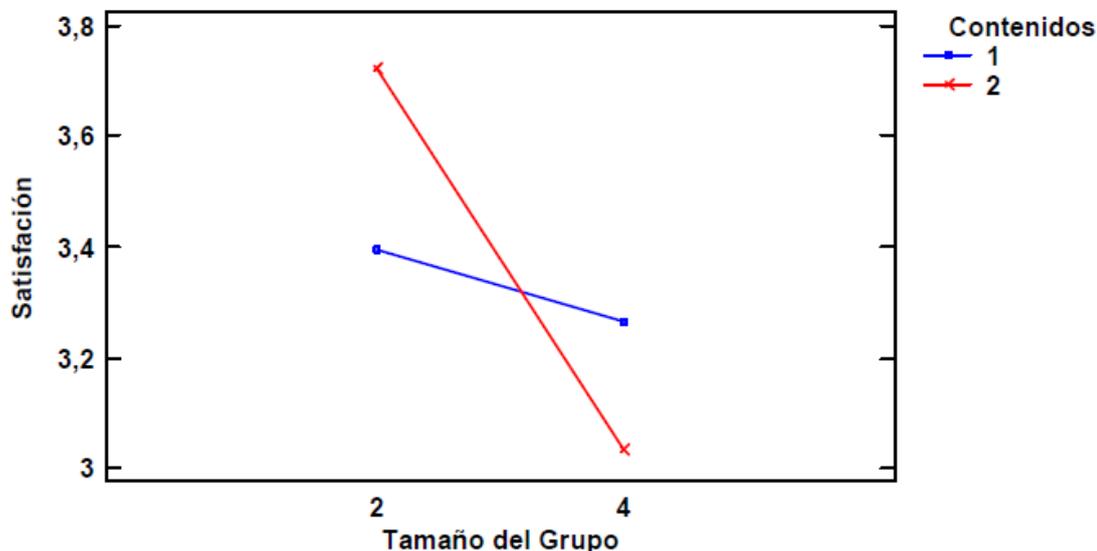


Figura 10. Gráfico de interacciones

3.3.3.- Análisis de varianza para la variable calidad.

El procedimiento elegido, similar al anterior, nos ofrece un análisis de varianza de varios factores para la variable calidad (Tabla 41):

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P	Contribucion (%)
EFFECTOS PRINCIPALES						
A:Tamaño del Grupo	2,11473	1	2,11473	3,12	0,0918	8,50%
B:Contenidos	0,0687377	1	0,0687377	0,1	0,7532	0,28%
C:Dificultad	4,05817	1	4,05817	5,99	0,0233	16,31%
D:Conocimientos	1,72176E-05	1	1,72176E-05	0	0,996	0,00%
INTERACCIONES						
AB	0,144776	1	0,144776	0,21	0,6486	0,58%
AC	0,267688	1	0,267688	0,4	0,5364	1,08%
AD	3,11459	1	3,11459	4,6	0,0439	12,52%
BC	0,000394494	1	0,000394494	0	0,981	0,00%
BD	0,566514	1	0,566514	0,84	0,3709	2,28%
CD	0,0808881	1	0,0808881	0,12	0,7331	0,33%
RESIDUOS	14,2274	21	0,677497			57,20%
TOTAL (CORREGIDO)	24,875	31				

Tabla 41. Análisis de la varianza para la variable calidad

Un análisis de la tabla ANOVA muestra Dificultad e Interacción entre Tamaño del Grupo y Conocimiento, como factores estadísticamente significativos sobre la CALIDAD (p-valor menor de 0,05). Ambos factores tiene una contribución próxima al 29%.

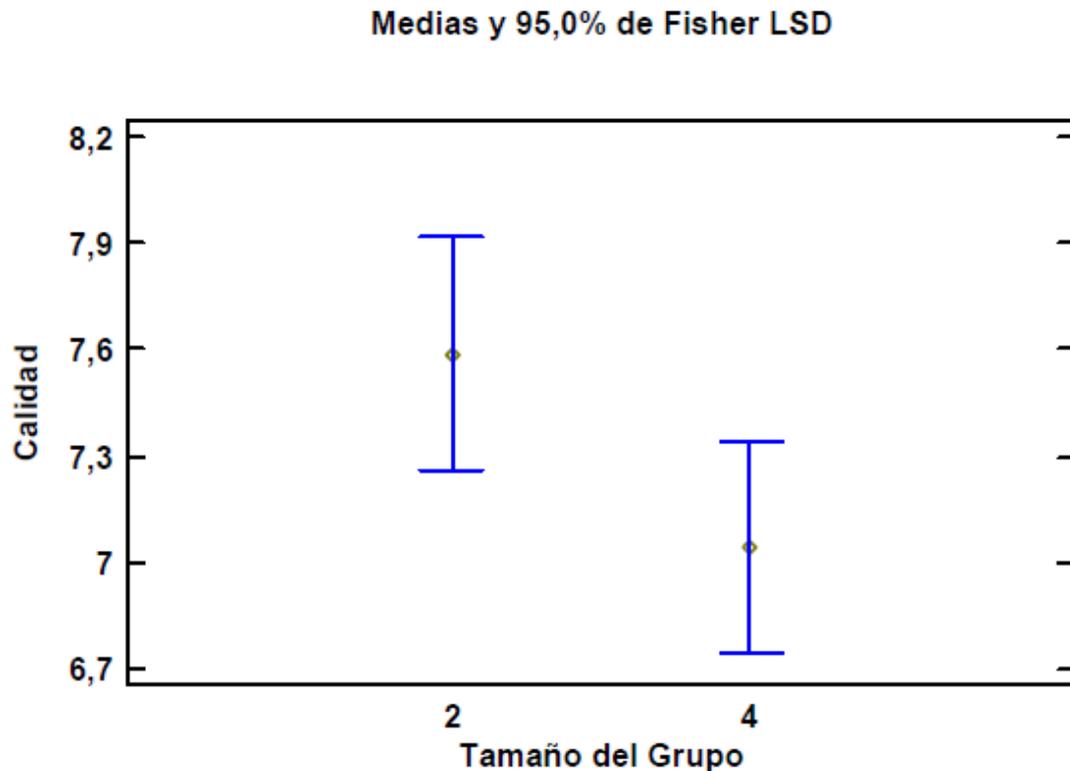


Figura 11. Intervalos de confianza al 95% y valores de media para calidad

El nivel de calidad es mayor con tamaño grupal pequeño, siendo este resultado más acusado en el caso de proyectos de contenido de instalaciones industriales. Este efecto es menos visible con un tamaño grupal más grande como muestra el Gráfico de interacciones (Figura 12):

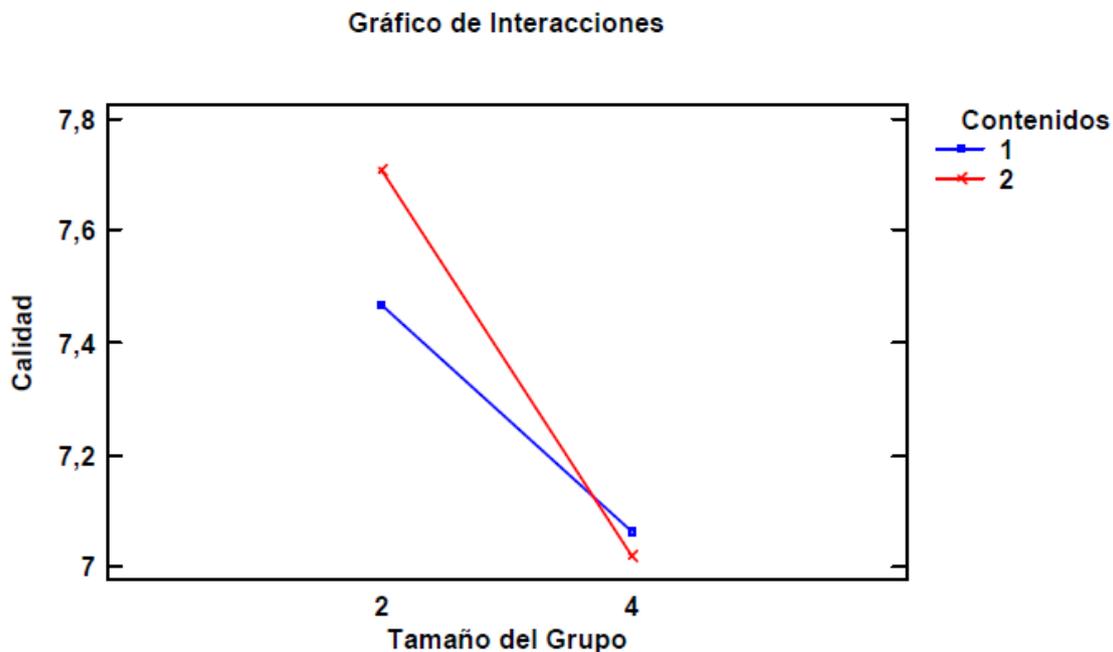


Figura 12. Gráfico de interacciones

Estos resultados han permitido definir fundamentalmente el tamaño grupal adecuado para la formación de los equipos de trabajo (etapa 2).

3.4.- Criterios y función de valor para el análisis del comportamiento de la metodología colaborativa implementada

3.4.1.-Elección de Criterios

La metodología utilizada se plantea, en un principio, para la impartición de una materia tan compleja como son los Proyectos Técnicos de Ingeniería en las Escuelas de Ingeniería. Sin embargo, desde un principio la idea inicial fue que sirviera como sistema de aprendizaje y que fuera válido para su aplicación a otras materias dentro de los estudios universitarios.

Para medir la acción de la metodología, que a nivel de enseñanza universitaria se realizará para cada curso completo en los que se ha aplicado, se proponen los siguientes parámetros como variables de evaluación: nivel de aprendizaje



global, nivel de desarrollo de otras habilidades, y grado de satisfacción de los estudiantes con el sistema.

La evaluación de dichos parámetros se realiza mediante las variables que se detallan en los siguientes puntos:

Nivel de aprendizaje global (relativo al proyecto) adquirido

El nivel de aprendizaje adquirido, se evalúa mediante el uso de las siguientes variables:

- Grado de superación de la asignatura: global (por curso) y por convocatorias y nivel de presentados.
- Nivel de calificaciones obtenidas: global (por curso) y por convocatorias. Medidor de calidad.

Nivel de desarrollo de otras habilidades

Para evaluar el nivel de desarrollo de otras habilidades, se contemplan las variables:

- Grado de uso de las herramientas TIC del sistema
- Grado de integración y madurez en el trabajo en equipo
- Nivel de aprendizaje autónomo
- Grado de conciencia crítica y también de autocrítica
- Nivel de razonamiento y toma de decisiones
- Nivel en la redacción de documentación técnica
- Grado de exposición y defensa de resultados

Grado de satisfacción de los estudiantes con el sistema

En el caso del grado de satisfacción de los estudiantes con el sistema, se consideran la variable:

- Tasa de abandono
 - En una convocatoria
 - En un curso

3.4.2.- Función de valor

Las tablas 42 y 43 muestran los parámetros elegidos para cada uno de los indicadores, así como su puntuación en función de su comportamiento. Junto a estos datos, se incluyen las funciones de valor, que permiten clasificar/evaluar el método con respecto a otros posibles métodos.

Para la obtención de estos pesos, se utiliza el método AHP ya descrito en el apartado anterior. En este caso se cuenta con 3 decisores para poder realizar las matrices de comparación de cada uno de los parámetros descritos en las tablas 42 y 43. Todos los decisores deben de contar con una experiencia superior a 5 años en el campo de la docencia y el ejercicio profesional de la ingeniería. Las tablas 44 y 45 se desarrollan para completar los resultados para la matriz de decisión, y los vectores de prioridad de cada uno de los decisores respecto a los 7 parámetros definidos para la variable Otras Habilidades (B), y respecto a las 4 variables principales para el medidor global (MG). La figura 13 muestra el modelo jerárquico a utilizar en el análisis AHP para evaluar el método SAAC respecto a la metodología tradicional basada en clase magistral. Del mismo modo, las tablas 46 y 47 se desarrollan para completar los resultados de la función global de prioridad para las 4 variables definidas: Aprendizaje global, Otras habilidades, Grado de Satisfacción, Tasa de Abandono. Para las comparaciones entre las variables, se propone el uso de la escala lineal de Saaty (1 a 9).

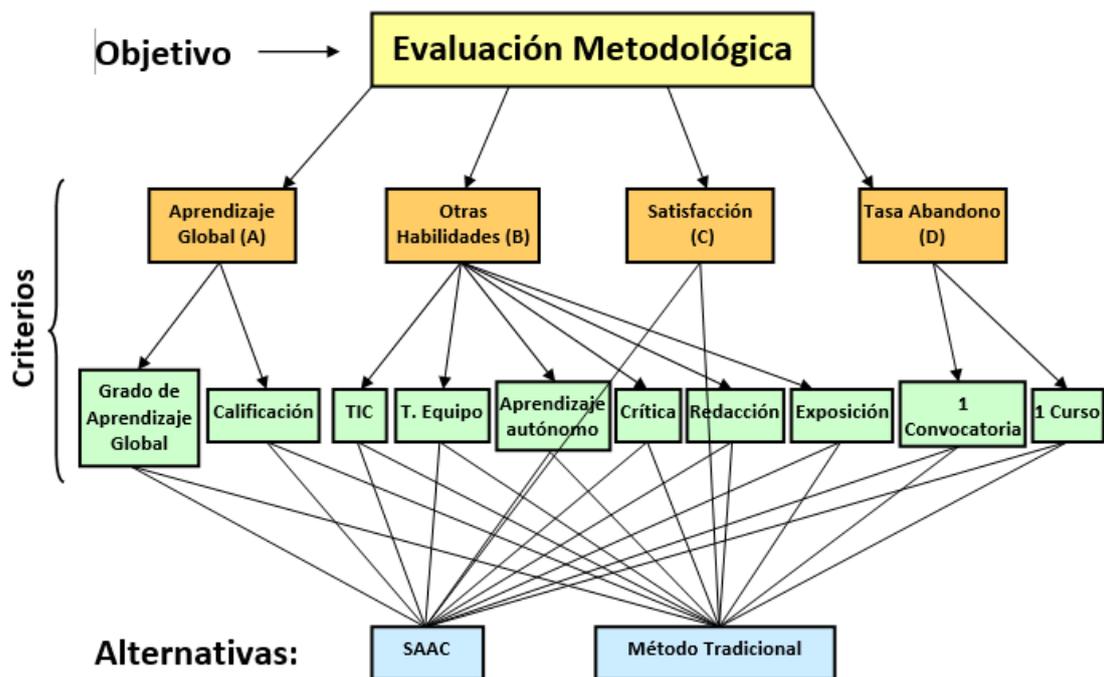


Figura 13. Diagrama Jerárquico de Decisión para evaluar la metodología

Indicador	Parámetro	1	2	3	4	5
Aprendizaje global A	Grado de aprendizaje global A ₁	Suspender en segunda convocatoria	Aprobar en segunda convocatoria	Superar con nota en segunda convocatoria	Aprobar en primera convocatoria	Superar con nota en primera convocatoria
	Calificación A ₂	Aprobado	Aprobado alto	Notable	Notable alto	Sobresaliente
Otras habilidades B	Uso TIC B ₁	Ninguno	Poco uso	Uso intermedio	Uso frecuente	Uso continuo
	Trabajo en equipo B ₂	No se ha logrado trabajar como un equipo	Trabajo en grupo sin formar equipo	Afrontar las tareas asignadas	Integración	Integración completa y madura
	Aprendizaje autónomo B ₃	No ha sido capaz de consultar y asimilación de fuentes	Consulta de fuentes sin comprensión	Consulta de fuentes a nivel básico	Consulta de fuentes a nivel técnico	Consulta de fuentes a nivel investigación
	Crítica y autocrítica B ₄	No sabe hacer crítica	Sabe hacer crítica pero no comprende	Sabe hacer crítica y comprende	Sabe hacer crítica y aprende de las que le afectan	Sabe hacer crítica y aprende de todas

Tabla 42. Parámetros medidores y función de valor (Medidor Global)



Indicador	Parámetro	1	2	3	4	5
Otras habilidades	Toma de decisiones B ₅	No toma decisiones	Toma una decisión no factible	Toma una decisión factible	Toma una decisión aproximada a la óptima	Toma la decisión óptima
	Redacción de documentación técnica B ₆	Redacción nada comprensible técnicamente	Redacción poco comprensible técnicamente	Redacción técnica básica	Redacción técnica avanzada en el idioma nativo	Redacción técnica completa a nivel internacional
	Exposición y defensa de resultados B ₇	No defiende su trabajo	No sabe defender su propio trabajo	Defiende su trabajo	Defiende bien su trabajo	Defiende su trabajo de forma excepcional
Grado de satisfacción C		Muy Bajo	Bajo	Medio	Alto	Muy Alto
Tasa de abandono D	En una convocatoria D ₁		90%	80%	60%	40%
	En un curso D ₂		20%	15%	10%	5%
Medidor GLOBAL		$MG = Ca \cdot A + Cb \cdot B + Cc \cdot C + Cd \cdot D$ $A = Ca1 \cdot A_1 + Ca2 \cdot A_2$ $D = Cd1 \cdot D_1 + Cd2 \cdot D_2$ $B = Cb1 \cdot B_7 + Cb2 \cdot B_6 + Cb3 \cdot B_5 + Cb4 \cdot B_4 + Cb5 \cdot B_3 + Cb6 \cdot B_2 + Cb7 \cdot B_1$				

Tabla 43. Parámetros medidores y función de valor (Medidor Global) (Continuación)

	Matrices de Comparación por pares	Vector de Prioridad Local (RGGMM)																																																																								
<p>$B^{[1]}$ (Decisor 1). Criterio B_1B_7 con respecto a Otras Habilidades</p>	<table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th>1</th> <th>2</th> <th>3</th> <th>4</th> <th>5</th> <th>6</th> <th>7</th> </tr> <tr> <th></th> <th>Exposición</th> <th>Redacción Técnica</th> <th>Decisiones</th> <th>Critica</th> <th>A. Autónomo</th> <th>Trabajo en Equipo</th> <th>TIC</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <th>Exposición</th> <td>1</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <th>R. Técnica</th> <td></td> <td>1</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <th>Decisiones</th> <td></td> <td></td> <td>1</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <th>Critica</th> <td></td> <td></td> <td></td> <td>1</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <th>A. Autónomo</th> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td>1</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <th>T. Equipo</th> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td>1</td> <td></td> </tr> <tr> <th>TIC</th> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td>1</td> </tr> </tbody> </table>		1	2	3	4	5	6	7		Exposición	Redacción Técnica	Decisiones	Critica	A. Autónomo	Trabajo en Equipo	TIC	Exposición	1							R. Técnica		1						Decisiones			1					Critica				1				A. Autónomo					1			T. Equipo						1		TIC							1	<p>$C^{[1]}b_1$</p> <p>$C^{[1]}b_2$</p> <p>$C^{[1]}b_3$</p> <p>$C^{[1]}b_4$</p> <p>$C^{[1]}b_5$</p> <p>$C^{[1]}b_6$</p> <p>$C^{[1]}b_7$</p>
	1	2	3	4	5	6	7																																																																			
	Exposición	Redacción Técnica	Decisiones	Critica	A. Autónomo	Trabajo en Equipo	TIC																																																																			
Exposición	1																																																																									
R. Técnica		1																																																																								
Decisiones			1																																																																							
Critica				1																																																																						
A. Autónomo					1																																																																					
T. Equipo						1																																																																				
TIC							1																																																																			
<p>$B^{[2]}$ (Decisor 2). Criterio B_1B_7 con respecto a Otras Habilidades</p>	<table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th>1</th> <th>2</th> <th>3</th> <th>4</th> <th>5</th> <th>6</th> <th>7</th> </tr> <tr> <th></th> <th>Exposición</th> <th>Redacción Técnica</th> <th>Decisiones</th> <th>Critica</th> <th>A. Autónomo</th> <th>Trabajo en Equipo</th> <th>TIC</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <th>Exposición</th> <td>1</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <th>Redacción Técnica</th> <td></td> <td>1</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <th>Decisiones</th> <td></td> <td></td> <td>1</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <th>Critica</th> <td></td> <td></td> <td></td> <td>1</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <th>A. Autónomo</th> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td>1</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <th>Trabajo en Equipo</th> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td>1</td> <td></td> </tr> <tr> <th>TIC</th> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td>1</td> </tr> </tbody> </table>		1	2	3	4	5	6	7		Exposición	Redacción Técnica	Decisiones	Critica	A. Autónomo	Trabajo en Equipo	TIC	Exposición	1							Redacción Técnica		1						Decisiones			1					Critica				1				A. Autónomo					1			Trabajo en Equipo						1		TIC							1	<p>$C^{[2]}b_2$</p> <p>$C^{[2]}b_3$</p> <p>$C^{[2]}b_4$</p> <p>$C^{[2]}b_5$</p> <p>$C^{[2]}b_6$</p> <p>$C^{[2]}b_7$</p>
	1	2	3	4	5	6	7																																																																			
	Exposición	Redacción Técnica	Decisiones	Critica	A. Autónomo	Trabajo en Equipo	TIC																																																																			
Exposición	1																																																																									
Redacción Técnica		1																																																																								
Decisiones			1																																																																							
Critica				1																																																																						
A. Autónomo					1																																																																					
Trabajo en Equipo						1																																																																				
TIC							1																																																																			

Tabla 44. Matrices de comparación por pares y vector de prioridad local para cada decisor. Variable B



	Matrices de Comparación por pares							Vector de Prioridad Local (RGGMM)		
B ^[3] (Decisor 3). Criterio B ₁B ₇ con res- pecto a Otras Habilidades		Exposición	Redacción Téc- nica	Decisiones	Crítica	A. Autónomo	Trabajo en Equipo	TIC	C ^[3] b ₂	
									C ^[3] b ₃	
		1	2	3	4	5	6	7	C ^[3] b ₄	
	Exposición	1								C ^[3] b ₅
	Redacción Técnica		1							C ^[3] b ₆
	Decisiones			1						C ^[3] b ₇
	Crítica				1					
	A. Autóno- mo					1				
Trabajo en Equipo						1				
TIC							1			

Tabla 45. Matrices de comparación por pares y vector de prioridad local para cada decisor. Variable B.
Continuación.

	Matriz de Comparación Global	Vector de Prioridad Global (RGGMM)																																				
MG ^[1] (Decisor 1). Criterios A, B, C y D con respecto al objetivo	<table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th></th> <th>Aprendizaje</th> <th>Otras Habilidades</th> <th>Satisfacción</th> <th>Abandono</th> </tr> <tr> <th></th> <th></th> <th>1</th> <th>2</th> <th>3</th> <th>4</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Aprendizaje</td> <td>1</td> <td>-</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Otras Habilidades</td> <td>2</td> <td></td> <td>-</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Satisfacción</td> <td>3</td> <td></td> <td></td> <td>-</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Abandono</td> <td>4</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td>-</td> </tr> </tbody> </table>			Aprendizaje	Otras Habilidades	Satisfacción	Abandono			1	2	3	4	Aprendizaje	1	-				Otras Habilidades	2		-			Satisfacción	3			-		Abandono	4				-	<p>C^[1]a</p> <p>C^[1]b</p> <p>C^[1]c</p> <p>C^[1]d</p>
		Aprendizaje	Otras Habilidades	Satisfacción	Abandono																																	
		1	2	3	4																																	
Aprendizaje	1	-																																				
Otras Habilidades	2		-																																			
Satisfacción	3			-																																		
Abandono	4				-																																	
MG ^[2] (Decisor 2). Criterios A, B, C y D con respecto al objetivo	<table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th></th> <th>Aprendizaje</th> <th>Otras Habilidades</th> <th>Satisfacción</th> <th>Abandono</th> </tr> <tr> <th></th> <th></th> <th>1</th> <th>2</th> <th>3</th> <th>4</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Aprendizaje</td> <td>1</td> <td>-</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Otras Habilidades</td> <td>2</td> <td></td> <td>-</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Satisfacción</td> <td>3</td> <td></td> <td></td> <td>-</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Abandono</td> <td>4</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td>-</td> </tr> </tbody> </table>			Aprendizaje	Otras Habilidades	Satisfacción	Abandono			1	2	3	4	Aprendizaje	1	-				Otras Habilidades	2		-			Satisfacción	3			-		Abandono	4				-	<p>C^[2]a</p> <p>C^[2]b</p> <p>C^[2]c</p> <p>C^[2]d</p>
		Aprendizaje	Otras Habilidades	Satisfacción	Abandono																																	
		1	2	3	4																																	
Aprendizaje	1	-																																				
Otras Habilidades	2		-																																			
Satisfacción	3			-																																		
Abandono	4				-																																	
MG ^[3] (Decisor 3). Criterios A, B, C y D con respecto al objetivo.	<table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th></th> <th>Aprendizaje</th> <th>Otras Habilidades</th> <th>Satisfacción</th> <th>Abandono</th> </tr> <tr> <th></th> <th></th> <th>1</th> <th>2</th> <th>3</th> <th>4</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Aprendizaje</td> <td>1</td> <td>-</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Otras Habilidades</td> <td>2</td> <td></td> <td>-</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Satisfacción</td> <td>3</td> <td></td> <td></td> <td>-</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Abandono</td> <td>4</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td>-</td> </tr> </tbody> </table>			Aprendizaje	Otras Habilidades	Satisfacción	Abandono			1	2	3	4	Aprendizaje	1	-				Otras Habilidades	2		-			Satisfacción	3			-		Abandono	4				-	<p>C^[3]a</p> <p>C^[3]b</p> <p>C^[3]c</p> <p>C^[3]d</p>
		Aprendizaje	Otras Habilidades	Satisfacción	Abandono																																	
		1	2	3	4																																	
Aprendizaje	1	-																																				
Otras Habilidades	2		-																																			
Satisfacción	3			-																																		
Abandono	4				-																																	

Tabla 46. Matrices de comparación por pares y vector de prioridad. Matriz Consolidada para MG y para la variable B



	Matriz de Comparación Global	Vector de Prioridad Global (RGGMM)																																																																								
<p>B: Matriz Consolidada. Criterios B1,... B7 con respecto al objetivo.</p>	<table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th>Exposición</th> <th>Redacción Técnica</th> <th>Decisiones</th> <th>Critica</th> <th>A. Autónomo</th> <th>Trabajo en Equipo</th> <th>TIC</th> </tr> <tr> <th></th> <th>1</th> <th>2</th> <th>3</th> <th>4</th> <th>5</th> <th>6</th> <th>7</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <th>Exposición</th> <td style="background-color: #cccccc;">1</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <th>Redacción Técnica</th> <td></td> <td style="background-color: #cccccc;">2</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <th>Decisiones</th> <td></td> <td></td> <td style="background-color: #cccccc;">3</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <th>Critica</th> <td></td> <td></td> <td></td> <td style="background-color: #cccccc;">4</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <th>A. Autónomo</th> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td style="background-color: #cccccc;">5</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <th>Trabajo en Equipo</th> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td style="background-color: #cccccc;">6</td> <td></td> </tr> <tr> <th>TIC</th> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td style="background-color: #cccccc;">7</td> </tr> </tbody> </table>		Exposición	Redacción Técnica	Decisiones	Critica	A. Autónomo	Trabajo en Equipo	TIC		1	2	3	4	5	6	7	Exposición	1							Redacción Técnica		2						Decisiones			3					Critica				4				A. Autónomo					5			Trabajo en Equipo						6		TIC							7	<p>Cb1 Cb2 Cb3 Cb4 Cb5 Cb6 Cb7</p>
	Exposición	Redacción Técnica	Decisiones	Critica	A. Autónomo	Trabajo en Equipo	TIC																																																																			
	1	2	3	4	5	6	7																																																																			
Exposición	1																																																																									
Redacción Técnica		2																																																																								
Decisiones			3																																																																							
Critica				4																																																																						
A. Autónomo					5																																																																					
Trabajo en Equipo						6																																																																				
TIC							7																																																																			
<p>MG: Matriz Consolidada. Criterios A, B, C y D con respecto al objetivo.</p>	<table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th>Aprendizaje</th> <th>Otras Habilidades</th> <th>Satisfacción</th> <th>Abandono</th> </tr> <tr> <th></th> <th>1</th> <th>2</th> <th>3</th> <th>4</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <th>Aprendizaje</th> <td style="background-color: #cccccc;">1</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <th>Otras Habilidades</th> <td></td> <td style="background-color: #cccccc;">2</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <th>Satisfacción</th> <td></td> <td></td> <td style="background-color: #cccccc;">3</td> <td></td> </tr> <tr> <th>Abandono</th> <td></td> <td></td> <td></td> <td style="background-color: #cccccc;">4</td> </tr> </tbody> </table>		Aprendizaje	Otras Habilidades	Satisfacción	Abandono		1	2	3	4	Aprendizaje	1				Otras Habilidades		2			Satisfacción			3		Abandono				4	<p>Ca Cb Cc Cd</p>																																										
	Aprendizaje	Otras Habilidades	Satisfacción	Abandono																																																																						
	1	2	3	4																																																																						
Aprendizaje	1																																																																									
Otras Habilidades		2																																																																								
Satisfacción			3																																																																							
Abandono				4																																																																						

Tabla 47. Matrices de comparación por pares y vector de prioridad. Matriz Consolidada para MG y para la variable B. Continuación.

3.5.- Discusión de Resultados

Para la implantación de la metodología colaborativa descrita, fue importante tener en cuenta los medios disponibles, las experiencias previas de los alumnos, y los propios condicionantes de su empleo en un entorno académico.

Lo primero a tener en cuenta, eran los medios disponibles. Todos los años se invertía en conseguir programas informáticos que sirviesen como herramienta para la solución de problemas. Era fundamental disponer de estos medios para poder conseguir resultados, una vez que se dispone de los medios necesarios, había que diseñar una estrategia que consiguiese utilizar estos medios para una formación más rápida.

El sistema de participación del alumnado durante las clases prácticas, fue la primera experiencia que demostró su importancia en la resolución de problemas planteados. El problema de esta situación era la necesidad de tiempo para poder llevarla a cabo. Posteriormente se planteó la necesidad de una formación activa, se pedía a los alumnos que adquiriesen información y posteriormente se analizaba. Esta situación ralentizaba el proceso, aunque era muy positiva para la formación del alumnado, ya que eran ellos los responsables de buscar y canalizar la información.

La incorporación de las TIC, ayudó a la aportación de la solución utilizada, ya que la información la aportan todos, está disponible para todos y todos la utilizan para conseguir sus objetivos.

Las dificultades hasta llegar a esta situación han sido varias, existía la necesidad de disponer de medios informáticos en las aulas, como mínimo un ordenador conectado a red y un proyector, esto que ahora se considera muy normal, al inicio de esta experiencia no era tan fácil disponer de estos medios.

Otra dificultad añadida era la disposición de programas informáticos para poder redactar proyectos, programas de Cad, de presupuestos, de cálculos de estructuras, instalaciones, etc....

Esta dificultad se fue resolviendo con inversiones en programas por parte de la Universidad, con disposición para todo el alumnado y la adquisición de programas por parte del Área de conocimiento, aportaciones de proyectos, etc.

Para una comprensión rápida por parte del alumnado en el uso de los diferentes programas, se elaboraron manuales simplificados, apoyados por ejemplos similares a los que se pudiesen dar en el desarrollo de la asignatura. Estos



manuales se hicieron en colaboración con el alumnado para conseguir una mayor comprensión por parte de ellos y así facilitar su comprensión en los futuros estudiantes.

La metodología utilizada contempla un sistema de aprendizaje activo colaborativo, en el que los participantes forman una parte activa del proceso de aprendizaje, el conocimiento se consigue trabajando en forma colaborativa, mediante la formación de grupos de trabajo.

La metodología planteada puede dar mejor respuesta a distintas competencias a adquirir durante el proceso de formación, en la materia de proyectos.

La utilización de esta metodología ha exigido la evaluación de las variables de influencia en su desarrollo. El factor que tiene una mayor influencia estadística significativa en las variables independientes es el tamaño grupal. Un menor tamaño grupal genera un menor tiempo de entrega del proyecto realizado por los alumnos, una mayor satisfacción por el trabajo realizado y unos mejores resultados de calidad. Estos resultados están de acuerdo con la mayoría de los trabajos científicos consultados (tabla 33).

El contenido de la tarea y la dificultad del trabajo tienen una influencia estadísticamente significativa sobre la variable satisfacción. En general, se observa que los contenidos y el grado de dificultad presentan mayor influencia en el grado de satisfacción del alumno, cuando los grupos son de menor tamaño. Siendo dicha satisfacción mayor para los grupos pequeños, con poca influencia del grado de dificultad. Este resultado está parcialmente de acuerdo con los resultados obtenidos por Psycharis, S., 2008, para el grado de dificultad de la tarea, pudiéndose destacar que los completa, al tener en cuenta no solo la dificultad sino el propio contenido del trabajo.

Siguiendo un paralelismo con lo reflejado en distintos estudios (Roy, U., 1998, Boujut, J. F. y Laureillard, P., 2002, Kim, H. J. et al., 2012, Sujo-Montes, L. E. et al., 2015), se ha incluido un sistema de decisión para la evaluación de alternativas. En las experiencias y recomendaciones de Psycharis, S. 2008, se ha tenido en cuenta, incluyendo dentro de la herramienta de decisión multicriterio, un método de consenso gráfico de fácil interpretación.

Con un tamaño de grupo de 2 alumnos, el planteamiento de la figura 4 como adaptación de una metodología colaborativa para la docencia de proyectos técnicos, y las herramientas TIC elegidas, la metodología colaborativa a aplicar queda definida.

Mediante la función de valor definida, se podría comparar el impacto que la adaptación de la metodología colaborativa para la docencia de proyectos técni-



cos descrita, tendría frente a otras metodologías. En el desarrollo de la función de valor (función para la comparación de metodologías) se ha intentado incluir las valoraciones de más de un punto de vista, intentado que distintos docentes incluyan la importancia relativa de cada uno de los criterios de valoración. En este punto, también se ha tenido en cuenta la evaluación del consenso en las valoraciones de cada docente.



Aplicación

4.- Aplicación

La metodología planteada, se ha experimentado en dos escenarios diferentes. Un escenario de experimentación de la metodología elegida ha sido en las aulas de la Escuela de Ingenierías Industriales de la Universidad de Valladolid, más concretamente en la impartición de la asignatura Proyectos y Oficina Técnica de los planes de estudio de Ingeniería de la rama Industrial. La experiencia se ha desarrollado durante un periodo superior a cinco años, en las diferentes titulaciones de la formación en Ingeniería.

Dentro de este primer escenario, se presentan 2 casos de aplicación para la evaluación de la adaptación de metodologías colaborativas en la docencia de proyectos técnicos. El primer caso, se plantea para la obtención de una función de valor que, mediante la elección de un conjunto de criterios característicos del impacto del uso de la metodología planteada, pueda ser utilizada como escala comparativa frente a otras metodologías docentes. En esta tesis se pretende evaluar el impacto de una metodología colaborativa frente a la clase magistral.

En el primer caso, la aplicación de la metodología colaborativa se desarrolla con la ayuda de herramientas convencionales de dibujo técnico 2D, habituales en los proyectos técnicos. Por lo expuesto por distintos autores, las herramientas pueden tener una influencia importante en el éxito de la aplicación de metodologías colaborativas. Teniendo esto último en cuenta, y considerando las propias exigencias derivadas de la evolución de la práctica profesional de los proyectos técnicos, se ha planteado un caso de estudio para la evaluación en la metodología colaborativa planteada del uso de BIM como herramienta. Este caso se desarrolla en una asignatura de grado en la que el alumno ya tiene adquiridas casi todas sus competencias, con un número de grupos pequeño.

Se ha elegido un segundo escenario, que representa un entorno real de trabajo, en concreto una pequeña empresa del sector del metal, en la que se desarrollan nuevos productos a la vez que se implantan, generalmente en grandes empresas del sector y posteriormente se ocupan del mantenimiento de los equipos implantados.

Este segundo escenario plantea un tercer caso de estudio, empleando grupos reducidos, enmarcados en actividades de postgrado/trabajos fin de grado, en el desarrollo conceptual de un proceso de fabricación. Como denota Meulen, E., 2011, los estudiantes en su trabajo final (trabajo fin de grado) comúnmente experimentan aislamiento y distanciamiento. Esta situación se puede mitigar con



el uso de una metodología colaborativa entre los alumnos integrados en la actividad de la empresa, dentro de las tareas definidas para ellos. Se pretende ver el desempeño del equipo de trabajo, para evaluar si puede cumplir los objetivos marcados dentro de las exigencias planteadas.

4.1.- Aplicación en un entorno académico: Evaluación de la metodología: Criterios y función de valor

La metodología implantada se plantea para la impartición de la materia Proyectos Técnicos de Ingeniería en las Escuelas de Ingeniería, en el contexto de las asignaturas de proyectos, Proyectos/Oficina Técnica, de las diferentes especialidades de grado que se imparten en la Escuela de Ingenierías Industriales de la Universidad de Valladolid.

La metodología utilizada, requiere de una serie de medidores que determinen con objetividad si su procedimiento es suficientemente válido para el objetivo planteado.

Como se ha descrito anteriormente, a nivel de enseñanza universitaria, se realiza para cada curso completo en los que se ha aplicado. Se proponen como variables de evaluación: el Nivel de Aprendizaje Global y el Nivel de Desarrollo de otras Habilidades, junto con el Grado de Satisfacción de los Estudiantes con el Sistema.

4.1.1.- Nivel de aprendizaje global (relativo al proyecto) adquirido

Para la evaluación del nivel de aprendizaje global, se han elegido las variables:

- Grado de superación de la asignatura: global (por curso) y por convocatorias y nivel de presentados
- Nivel de calificaciones obtenidas: global (por curso) y por convocatorias. Medidor de calidad

4.1.2.- Nivel de desarrollo de otras habilidades

En el nivel de desarrollo de otras habilidades, se tienen en cuenta:

- Grado de uso de las herramientas TIC del sistema
- Grado de integración y madurez en el trabajo en equipo
- Nivel de aprendizaje autónomo
- Grado de conciencia crítica y también de autocrítica
- Nivel de razonamiento y toma de decisiones
- Nivel en la redacción de documentación técnica
- Grado de exposición y defensa de resultados

4.1.3.- Grado de satisfacción de los estudiantes con el sistema

En el caso del grado de satisfacción de los estudiantes con el sistema, se elige:

- Tasa de abandono
 - En una convocatoria
 - En un curso

4.1.4.- Función de valor

En las tablas 48 y 49 se exponen los parámetros elegidos para cada uno de los indicadores. También se indica la puntuación en función de su comportamiento. Se incluyen, además, las funciones de valor, para clasificar/evaluar este método con respecto a otros métodos.

En la obtención de estos pesos, se ha utilizado el método AHP. Se ha contado con 3 decisores para poder realizar las matrices de comparación de cada uno de los parámetros descritos en las tablas 48 y 49. Los decisores elegidos cuen-

tan con una experiencia superior a 10 años en el campo de la docencia y el ejercicio profesional de la ingeniería.

Las tablas 50 y 51 muestran los resultados para la matriz de decisión, los vectores de prioridad de cada uno de los decisores respecto a los 7 parámetros definidos para la variable Otras Habilidades (B), y respecto a las 4 variables principales para el medidor global (MG).

La figura 14 muestra el modelo jerárquico empleado en el análisis AHP para evaluar la metodología utilizada respecto a la metodología tradicional basada en clase magistral.

Las tablas 52 y 53 muestran los resultados de la función global de prioridad para las 4 variables definidas: Aprendizaje global, Otras habilidades, Grado de Satisfacción, Tasa de Abandono. Para las comparaciones entre las variables se ha utilizado la escala lineal de Saaty (1 a 9).

El valor obtenido para el índice CGI es de 0,02 para la matriz MG y de 0,22 para la matriz de la variable B, lo que indica un buen nivel de consistencia.

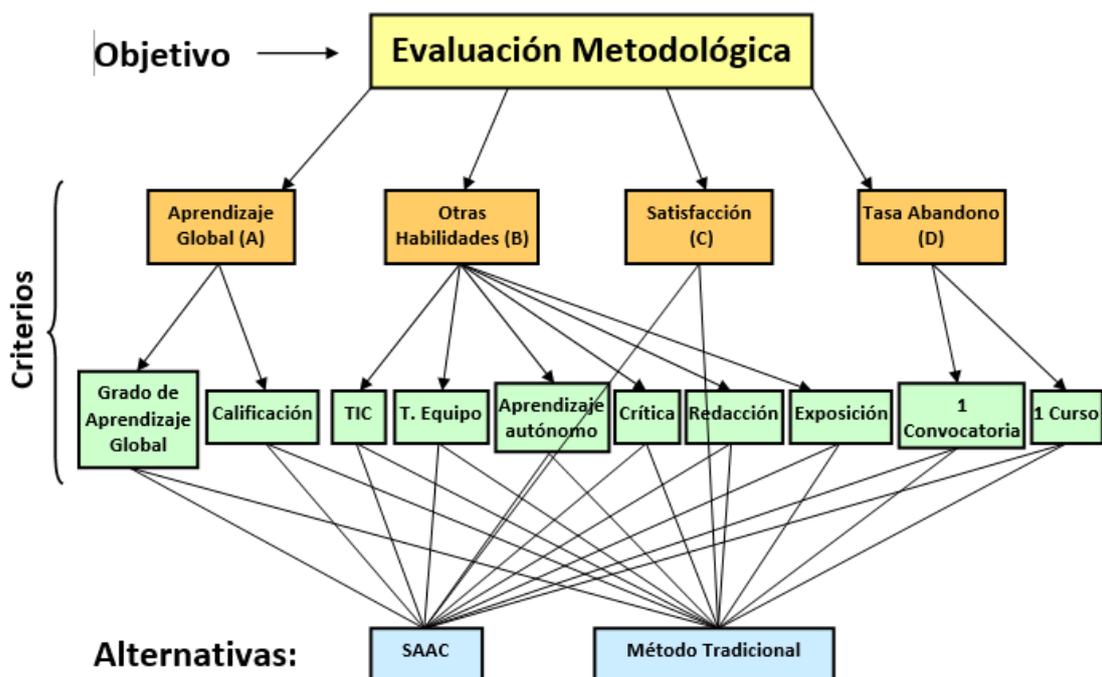


Figura 14. Diagrama Jerárquico de Decisión para evaluar la metodología

Indicador	Parámetro	1	2	3	4	5
Aprendi- zaje global A	Grado de aprendizaje global A ₁	Suspender en segunda convocato- ria	Aprobar en segunda convocato- ria	Superar con nota en segunda convocato- ria	Aprobar en primera convocato- ria	Superar con nota en prime- ra convo- catoria
	Calificación A ₂	Aprobado	Aprobado alto	Notable	Notable alto	Sobresa- liente
Otras ha- bilidades B	Uso TIC B ₁	Ninguno	Poco uso	Uso inter- medio	Uso fre- cuente	Uso con- tinuo
	Trabajo en equipo B ₂	No se ha logrado trabajar como un equipo	Trabajo en grupo sin formar equipo	Afrontar las tareas asignadas	Integración	Integra- ción com- pleta y madura
	Aprendizaje autónomo B ₃	No ha sido capaz de consultar y asimilación de fuentes	Consulta de fuentes sin com- prensión	Consulta de fuentes a nivel bá- sico	Consulta de fuentes a nivel téc- nico	Consulta de fuen- tes a nivel investiga- ción
	Crítica y autocrítica B ₄	No sabe hacer críti- ca	Sabe hacer crítica pero no com- prende	Sabe hacer crítica y comprende	Sabe hacer crítica y aprende de las que le afectan	Sabe ha- cer crítica y aprende de todas

Tabla 48. Parámetros medidores y función de valor (Medidor Global)



Indicador	Parámetro	1	2	3	4	5
Otras habilidades	Toma de decisiones B ₅	No toma decisiones	Toma una decisión no factible	Toma una decisión factible	Toma una decisión aproximada a la óptima	Toma la decisión óptima
	Redacción de documentación técnica B ₆	Redacción nada comprensible técnicamente	Redacción poco comprensible técnicamente	Redacción técnica básica	Redacción técnica avanzada en el idioma nativo	Redacción técnica completa a nivel internacional
	Exposición y defensa de resultados B ₇	No defiende su trabajo	No sabe defender su propio trabajo	Defiende su trabajo	Defiende bien su trabajo	Defiende su trabajo de forma excepcional
Grado de satisfacción C		Muy Bajo	Bajo	Medio	Alto	Muy Alto
Tasa de abandono D	En una convocatoria D ₁		90%	80%	60%	40%
	En un curso D ₂		20%	15%	10%	5%
Medidor GLOBAL		$MG=0,11*A+0,24*B+0,33*C+0,33*D$ $A=0,67*A_1+0,33*A_2$ $D=0,33*D_1+0,67*D_2$ $B=0,19*B_7+ 0,12*B_6+ 0,19*B_5+ 0,18*B_4+ 0,12*B_3+0,12*B_2+ 0,07*B_1$				

Tabla 49. Parámetros medidores y función de valor (Medidor Global) (continuación)

	Matrices de Comparación por pares							Vector de Prioridad Local (RGGMM)	
B ^[1] (Decisor 1). Criterio B ₁B ₇ con res- pecto a Otras Habilidades		Exposición	Redacción Téc- nica	Decisiones	Crítica	A. Autónomo	Trabajo en Equipo	TIC	0,198 0,165 0,176 0,169 0,123 0,124 0,045
		1	2	3	4	5	6	7	
	Exposición	1	1	1	1	2	3	3	
	R. Técnica	1	1	1/2	2	1	1	5	
	Decisiones	1	2	1	1	2	1	2	
	Crítica	1	1/2	1	1	2	2	3	
	A. Autónomo	1/2	1	1/2	1/2	1	1	5	
	T. Equipo	1/3	1	1	1/2	1	1	4	
TIC	1/3	1/5	1/2	1/3	1/5	1/4	1		
B ^[2] (Decisor 2). Criterio B ₁B ₇ con res- pecto a Otras Habilidades		Exposición	Redacción Téc- nica	Decisiones	Crítica	A. Autónomo	Trabajo en Equipo	TIC	0,200 0,110 0,181 0,192 0,129 0,120 0,067
		1	2	3	4	5	6	7	
	Exposición	1	2	1	1	2	2	2	
	Redacción Técnica	1/2	1	1/2	1/2	1	1	2	
	Decisiones	1	2	1	2	2	1	1	
	Crítica	1	2	1/2	1	2	3	2	
	A. Autónomo	1/2	1	1/2	1/2	1	1 1/2	4	
	Trabajo en Equipo	1/2	1	1	1/3	2/3	1	4	
TIC	1/2	1/2	1	1/2	1/4	1/4	1		

Tabla 50. Matrices de comparación por pares y vector de prioridad local para cada decisor. Variable B



	Matrices de Comparación por pares							Vector de Prioridad Local (RGGMM)	
B ^[3] (Decisor 3). Criterio B ₁B ₇ con res- pecto a Otras Habilidades		Exposición	Redacción Té- cnica	Decisiones	Critica	A. Autónomo	Trabajo en Equipo	TIC	
		1	2	3	4	5	6	7	
	Exposición	1	1 1/2	1	1	2	2	3	0,203 0,148 0,181 0,174 0,110 0,122 0,062
	Redacción Técnica	2/3	1	1/2	2	1	1	3	
	Decisiones	1	2	1	2	2	1	1	
	Critica	1	1/2	1/2	1	2	3	4	
	A.Autónomo	1/2	1	1/2	1/2	1	1	2	
	Trabajo en Equipo	1/2	1	1	1/3	1	1	3	
TIC	1/3	1/3	1	1/4	1/2	1/3	1		
	7								

Tabla 51. Matrices de comparación por pares y vector de prioridad local para cada decisor. Variable B.
 Continuación.

	Matriz de Comparación Global					Vector de Prioridad Global (RGGMM)
MG ^[1] (Decisor 1). Criterios A, B, C y D con respecto al objetivo		Aprendizaje	Otras Habi- lidades	Satisfacción	Abandono	0,108 0,187 0,292 0,413
		1	2	3	4	
	Aprendizaje 1	-	2/5	1/3	1/3	
	Otras Habi- lidades 2	2 5/9	-	2/3	2/3	
	Satisfacción 3	2 3/4	1 1/2	-	1	
Abandono 4	2 3/4	1 1/2	1	-		
MG ^[2] (Decisor 2). Criterios A, B, C y D con respecto al objetivo		Aprendizaje	Otras Habi- lidades	Satisfacción	Abandono	0,097 0,207 0,348 0,348
		1	2	3	4	
	Aprendizaje 1	-	2/5	1/3	1/3	
	Otras Habi- lidades 2	2 5/9	-	2/3	2/3	
	Satisfacción 3	2 3/4	1 1/2	-	1	
Abandono 4	2 3/4	1 1/2	1	-		
MG ^[3] (Decisor 3). Criterios A, B, C y D con respecto al objetivo.		Aprendizaje	Otras Habi- lidades	Satisfacción	Abandono	0,138 0,391 0,276 0,195
		1	2	3	4	
	Aprendizaje 1	-	2/5	1/3	1/3	
	Otras Habi- lidades 2	2 5/9	-	2/3	2/3	
	Satisfacción 3	2 3/4	1 1/2	-	1	
Abandono 4	2 3/4	1 1/2	1	-		

Tabla 52. Matrices de comparación por pares y vector de prioridad. Matriz Consolidada para MG y para la variable B.



	Matriz de Comparación Global							Vector de Prioridad Global (RGGMM)	
B: Matriz Consolidada. Criterios B1,... B7 con respecto al objetivo.		Exposición	Redacción Técnica	Decisiones	Critica	A. Autónomo	Trabajo en Equipo	TIC	
		1	2	3	4	5	6	7	
	Exposición	1	1,64	1	1	2	2,17	2,35	0,19
	Redacción Técnica	0,61		0,5	0,87	1	1	2,61	0,12
	Decisiones	1	2		1,74	2	1	1,15	0,19
	Critica	1	1,15	0,57		2	2,77	2,49	0,18
	A. Autónomo	0,5	1	0,5	0,5		1,28	3,64	0,12
	Trabajo en Equipo	0,46	1	1	0,36	0,78		3,78	0,12
TIC	0,43	0,38	0,87	0,4	0,27	0,26		0,07	
MG: Matriz Consolidada. Criterios A, B, C y D con respecto al objetivo.		Aprendizaje	Otras Habilidades	Satisfacción	Abandono				
		1	2	3	4				
	Aprendizaje	1	-	2/5	1/3	1/3			0,109
	Otras Habilidades	2	2 5/9	-	2/3	2/3			0,236
	Satisfacción	3	2 3/4	1 1/2	-	1			0,327
Abandono	4	2 3/4	1 1/2	1	-			0,327	

Tabla 53. Matrices de comparación por pares y vector de prioridad. Matriz Consolidada para MG y para la variable B. Continuación.

Se analizó la consistencia y el consenso entre los 3 participantes, mediante el método gráfico propuesto. En este caso el consenso era adecuado, los decisores conservan el mismo orden de preferencias para todas las alternativas y las diferencias entre cada uno de los pesos se encuentran dentro del intervalo marcado por 1,6 veces la desviación típica de los valores obtenidos (ver figura 15).

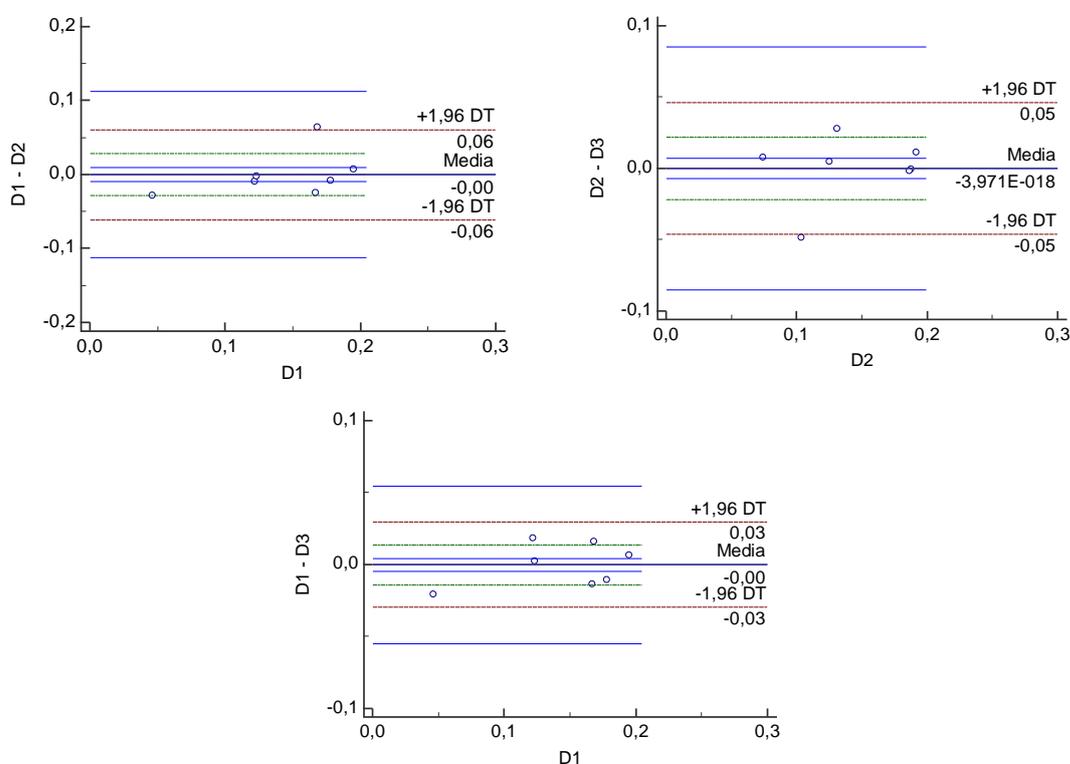


Figura 15. Diagrama Bland–Altman para la evaluación del consenso entre los decisores: D1 respecto a D2 (imagen superior izquierda), D2 respecto a D3 (imagen superior derecha) y D1 respecto a D3 (imagen inferior).

La aplicación de esta metodología, comenzó implantándose en las asignaturas de Oficina Técnica del segundo cuatrimestre del último curso en las titulaciones de Ingeniería Técnica Industrial y en las especialidades de mecánica, electricidad y química, extrapolándose a los cursos de Grado actuales, en las titulaciones de tecnologías industriales, mecánica, electricidad, electrónica y automática, química, organización industrial y diseño industrial.



El conjunto de tareas a realizar, que constituyen la redacción completa de un proyecto técnico se desglosa en subconjuntos de tareas. Para cada una de las cuáles, se establecen:

- Plazo para la entrega de trabajos/tareas de grupo e individuales
- Plazo de estudio y análisis de los trabajos de los demás estudiantes
- Puesta en común de los trabajos, resultado de los análisis (aportaciones de los grupos de trabajo) y discusión de las soluciones adoptadas para la tarea encomendada

En la clase de puesta en común, se expusieron los trabajos y sus correspondientes aportaciones realizadas por el resto de los alumnos, analizándose el resultado de todas las aportaciones expuestas (una a una) y debatiéndose entre todos con la aportación del docente. Todas las aportaciones realizadas sobre un trabajo, redundan en la mejora del aprendizaje de la solución que debe adoptarse.

Una vez analizados aproximadamente el 70% de los trabajos realizados por los estudiantes, se está en disposición de poder aseverar que los estudiantes han asimilado de forma clara la resolución del problema planteado en el principio y su adaptación a las distintas aportaciones creativas realizadas por cada grupo de estudiantes en cada caso.

Se han analizado los datos obtenidos durante los diferentes cursos de aplicación de la metodología, y en los años anteriores, también se han realizado una serie de encuestas entre el alumnado para obtener los diferentes resultados de la aplicación, teniendo en cuenta los criterios y su función de valor obtenida mediante la aplicación del método AHP (figura 16).

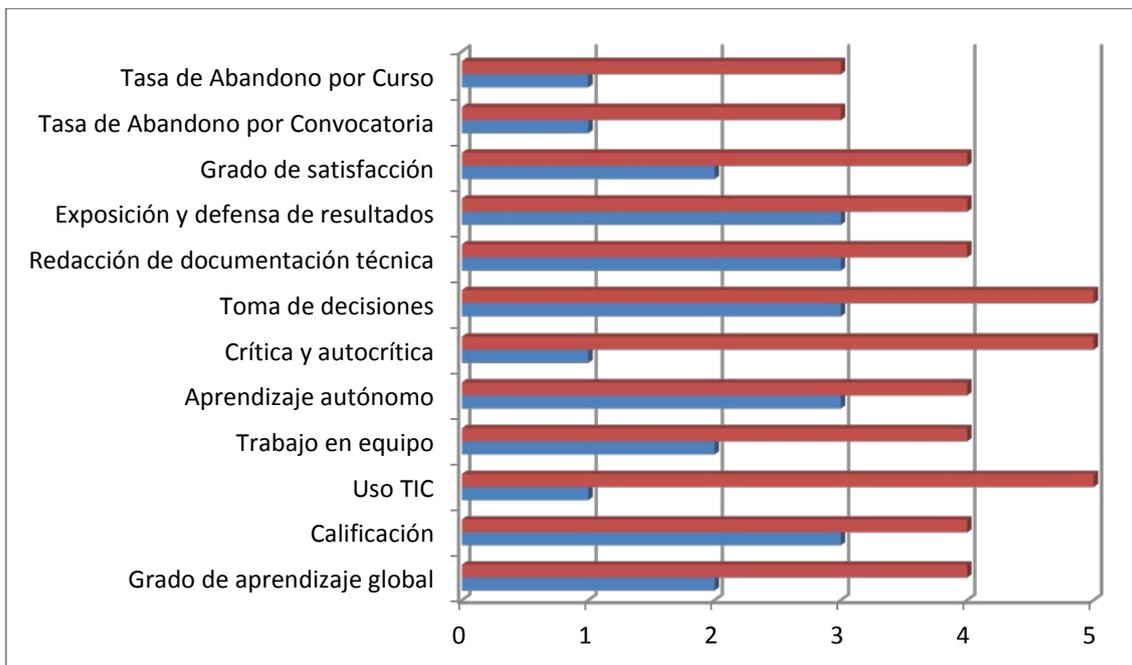


Figura 16. Comparativa de los resultados obtenidos teniendo en cuenta los distintos criterios considerados, para la metodología tradicional (en azul), respecto a la metodología planteada SAAC (en rojo). Mayor valor representa un mejor resultado.

Tal y como se ha descrito en la valoración de cada una de las variables (criterios y subcriterios), un valor más alto significa un mejor resultado. Según se observa en la figura 16, la aplicación de la metodología colaborativa (valores en color rojo) hace que disminuya notablemente la tasa de abandono, debido a una implicación del estudiante desde el principio en el proceso. Al implicarse en el proceso de aprendizaje, aumenta su satisfacción con respecto a la asignatura, aumenta su relación con los demás y defiende y explica sus resultados de manera convincente, aumenta su capacidad de seleccionar documentación técnica, mejora su autocrítica, crítica y a la vez su toma de decisiones, trabaja mejor en equipo, utilizando los medios que le son útiles y como consecuencia, aumenta su grado de aprendizaje y su calificación. Todos estos valores han sido obtenidos, trabajando con el valor medio, mediante el estudio de los resultados en la aplicación del método en 238 casos reales.

La función de valor muestra, teniendo en cuenta la importancia relativa de cada uno de los criterios evaluados, que la metodología colaborativa utilizada obtiene una mayor puntuación (más del 50%). En la mayoría de los criterios evaluados el uso de la metodología colaborativa presenta mejores valores, pudiéndose tomar este método como alternativa a la clase magistral.



Un análisis de los resultados en relación a las competencias de la materia de Proyectos en la Ingeniería, teniendo en cuenta el grado de importancia de cada uno de los criterios de evaluación descritos anteriormente, nos indica que:

Con la aplicación de esta metodología, se observa una mejora en las competencias reseñadas anteriormente. Esta mejora puede ser evaluada según la relación entre las distintas capacidades a desarrollar y los criterios de evaluación fijados.

Si tenemos en cuentas las competencias generales, dichas competencias se pueden relacionar con los siguientes criterios:

- Redacción de documentación técnica.
- Toma de decisiones.
- Crítica y autocrítica.
- Aprendizaje autónomo.
- Trabajo en equipo.
- Uso de TIC.

El resultado obtenido para dichos criterios en la aplicación de la metodología planteada, en comparación con la metodología tradicional, muestra una notable mejoría. Esto se puede traducir en una mayor facilidad en el desarrollo de las competencias generales.

En referencia a la figura 16, y teniendo en cuenta los resultados obtenidos para el criterio de exposición y defensa de resultados, la aplicación de la metodología propuesta consigue una mejora sustancial en las capacidades específicas siguientes:

- Aplicar y dominar conocimientos culturales, tecnológicos y de comunicación.
- Capacidad para planificar las fases de desarrollo de un producto a nivel conceptual.
- Capacidad para planificar las fases de desarrollo de un producto a nivel de detalle.
- Capacidad de proyectar, visualizar y comunicar ideas.

La exposición y defensa de resultados, se realiza de forma conjunta en exposición, delante de todos los grupos participantes y del docente responsable. Esta situación exige por parte de los alumnos de un control de los conocimientos y de las capacidades de comunicación. Lo que también desarrolla es un control en la planificación que se verá reflejado en otras competencias.



Respecto a los resultados obtenidos para el criterio de redacción y documentación técnica, al aplicar la metodología y en comparación con la alternativa tradicional, se consiguen unos resultados similares a los obtenidos para el criterio anterior en las siguientes capacidades específicas:

- Capacidad para el manejo de especificaciones técnicas y la elaboración de informes técnicos.
- Comprender y aplicar conocimientos de legislación.
- Comprender y aplicar conocimientos de seguridad y salud laboral.
- Aplicar normas, reglamentos y especificaciones de obligado cumplimiento.

La redacción y manejo de documentación técnica por parte de los alumnos, para la posterior redacción del proyecto, desarrolla la capacidad del manejo de todo tipo de documentación y su comprensión, así como su estructura para conseguir posteriormente una correcta redacción de la documentación necesaria.

El criterio de toma de decisiones, obtiene unos resultados notables en relación al método tradicional, aumentando el desarrollo de las siguientes capacidades específicas:

- Cultura del proyecto: capacidad de adaptar la creatividad, las herramientas metodológicas y los conocimientos adquiridos a la resolución de problemas de diferente índole, relacionados con el desarrollo de producto.
- Aplicar y dominar conocimientos culturales, tecnológicos y de comunicación.
- Capacidad para planificar las fases de desarrollo de un producto a nivel conceptual.
- Capacidad para planificar las fases de desarrollo de un producto a nivel de detalle.
- Conocimientos y capacidades para organizar y gestionar proyectos. Conocer la estructura organizativa y las funciones de una oficina de proyectos.
- Capacidad para aplicar los conocimientos de tecnología, componentes y materias.
- Comprender y aplicar conocimientos de legislación.
- Comprender y aplicar conocimientos de seguridad y salud laboral.
- Aplicar normas, reglamentos y especificaciones de obligado cumplimiento.



La toma de decisiones implica un buen conocimiento de los problemas planteados, así como la utilización y selección de criterios que sirvan para tomar una buena decisión, aumentan de esta forma la cultura del proyecto y las capacidades necesarias para su correcta implantación.

El criterio crítica y autocrítica, obtiene uno de los mejores resultados. En este caso, las capacidades específicas relacionadas a desarrollar son:

- Cultura del proyecto: capacidad de adaptar la creatividad, las herramientas metodológicas y los conocimientos adquiridos a la resolución de problemas de diferente índole, relacionados con el desarrollo de producto.
- Comprender y aplicar conocimientos de Tecnologías de la Información.
- Capacidad para desarrollar procesos proyectuales.
- Realización de proyectos de diseño y desarrollo industrial.
- Capacidad para aplicar los conocimientos de tecnología, componentes y materias.
- Capacidad de proyectar, visualizar y comunicar ideas.
- Conciencia medioambiental, compromiso con la preservación del medio ambiente y la sostenibilidad.

El desarrollo de la crítica y la autocrítica sobre los propios trabajos, consigue una puesta en común de conocimientos y de formas de evaluar los criterios, aumentando las capacidades sobre el conocimiento del proceso de realización de proyectos, la forma del uso de las tecnologías necesarias para cada problema, y fomentando la consideración de la conciencia medioambiental como base en la toma de diferentes soluciones.

Los resultados obtenidos, aplicando la metodología planteada respecto al criterio correspondiente al aprendizaje autónomo, muestran una mejora sustancial, que se puede relacionar con el desarrollo de las siguientes capacidades específicas:

- Capacidad para planificar las fases de desarrollo de un producto a nivel conceptual.
- Capacidad para planificar las fases de desarrollo de un producto a nivel de detalle.
- Capacidad para diseñar, redactar y dirigir proyectos relacionados con la especialidad.
- Capacidad para el manejo de especificaciones técnicas y la elaboración de informes técnicos.
- Capacidad para aplicar los conocimientos de tecnología, componentes y materias.

- Aplicar normas, reglamentos y especificaciones de obligado cumplimiento.

El aprendizaje autónomo, consigue que los alumnos desarrollen capacidades relacionadas con la consecución de información y su posterior aplicación, dentro de los problemas planteados.

El resultado obtenido con la aplicación de la metodología propuesta es notable para el criterio trabajo en equipo. Este criterio se puede relacionar, con el desarrollo de las capacidades específicas enumeradas a continuación:

- Cultura del proyecto: capacidad de adaptar la creatividad, las herramientas metodológicas y los conocimientos adquiridos a la resolución de problemas de diferente índole, relacionados con el desarrollo de producto.
- Capacidad para desarrollar procesos proyectuales.
- Conocimientos y capacidades para organizar y gestionar proyectos. Conocer la estructura organizativa y las funciones de una oficina de proyectos.
- Capacidad de proyectar, visualizar y comunicar ideas.

Trabajar en equipo es una de las soluciones cada vez más empleadas en la realización de proyectos; en el caso de los grandes proyectos, los equipos son imprescindibles. El trabajo en equipo consigue una visión más amplia del problema, aumentando el conocimiento sobre el proyecto, la creatividad y las capacidades de proyectar, organizar y gestionar proyectos.

El uso de las TIC, es otro de los criterios que consigue el mejor resultado al aplicar la metodología propuesta. En este caso se puede relacionar con las siguientes capacidades específicas desarrolladas:

- Aplicar y dominar conocimientos culturales, tecnológicos y de comunicación.
- Comprender y aplicar conocimientos de Tecnologías de la Información.
- Capacidad de proyectar, visualizar y comunicar ideas.
- Conciencia medioambiental, compromiso con la preservación del medio ambiente y la sostenibilidad.

El uso de las TIC, se considera muy importante en el desarrollo de este tipo de actividad, consigue aumentar el conocimiento de las tecnologías de comunicación y su aplicación en el proyecto y, como consecuencia, la capacidad de proyectar. Su uso aumenta el compromiso con el medio ambiente y la sostenibilidad.



4.2.- Aplicación en un entorno académico: Evaluación en la metodología colaborativa planteada del uso de BIM como herramienta.

Se ha planteado un caso de estudio para la evaluación en la adaptación de metodologías colaborativas en proyectos técnicos, empleando BIM como herramienta tecnológica. Este caso se desarrolla en una asignatura de grado en la que el alumno ya tiene adquiridas casi todas sus competencias, con un número de grupos pequeño.

Se pretende evaluar la percepción del alumno respecto a:

- La utilización de metodologías colaborativas en la docencia de proyectos técnicos.
- La necesidad de incorporar BIM en el sistema de docencia reglada de los estudios de Grado en la docencia de proyectos técnicos.

Con la ayuda de la metodología colaborativa, se diseña un método de implantación de BIM durante el curso de la asignatura proyectos técnicos industriales. Para conocer la percepción del alumno, se realiza una encuesta tipo Likert con 5 niveles. La tabla 54 muestra las 20 preguntas que la componen, dividida en 3 secciones. La primera sección se centra en la herramienta tecnológica BIM, la segunda se refiere a la herramienta de diseño 3D elegida, y la tercera trata de recoger una valoración global del grado de satisfacción del alumno y su percepción global con respecto a la asignatura.

Para asegurar un nivel de consistencia en las respuestas de los alumnos, se han introducido 2 preguntas de control en cada una de las secciones (preguntas 6, 7, 10, 12, 14 y 16). Un resultado muy opuesto entre las preguntas 6 y 7, 10 y 12 ó 14 y 16 obligaría a no tener en cuenta las respuestas de esa muestra.

ENCUESTA DE SATISFACCIÓN PARA 4º GRADO TECNOLOGÍAS INDUSTRIALES					
ASIGNATURA DE PROYECTOS TÉCNICOS INDUSTRIALES					
	Valoración				
	(1 Completamente en desacuerdo 5 Completamente de acuerdo)				
	1	2	3	4	5
RELATIVO A BIM					
1. Consideras de utilidad el modelado BIM para proyectar					
2. Valora la asimilación personal del concepto de BIM y su aplicación					
3. Nivel de dificultad que supone utilizarlo a la hora de proyectar					
4. Nivel de integración de BIM en el ámbito de los proyectos de ingeniería industrial					
5. Valoración del interés y la motivación por BIM tras cursar la asignatura					
6. Valora el interés que supone el trabajar en grupo con la metodología BIM					
7. Valora la posibilidad de trabajar con BIM desde distintos puntos geográficos					
RELATIVO AL SOFTWARE EMPLEADO: REVIT					
8. ¿Percibes que REVIT es un software intuitivo y asequible?					
9. ¿La inversión de horas dedicadas a REVIT es proporcional al grado de aprendizaje adquirido?					
10. ¿Crees que con la realización del proyecto has adquirido un nivel suficiente para emplear REVIT?					
11. ¿Qué nivel de complementos consideras que necesita REVIT MEP?					
12. Valora la dificultad del aprendizaje de REVIT					
13. ¿Qué nivel de opciones proporciona REVIT para trabajar en grupo?					
PERCEPCIÓN GLOBAL DE LA ASIGNATURA					
14. ¿Cómo consideras que BIM mejora tu currículum como ingeniero?					
15. Valora la utilidad de BIM en el contexto de esta asignatura					
16. A qué nivel de adquisición de competencias, como ingeniero, contribuye esta asignatura					
17. A qué nivel de habilidades de aprendizaje autónomo ha contribuido la asignatura					
18. ¿Qué nivel has adquirido respecto a la responsabilidad en la toma de decisiones como ingeniero					
19. En qué grado ha contribuido la asignatura al desarrollo de habilidades relativas al trabajo en grupo					
20. Valoración global de la asignatura					

Tabla 54. Preguntas de la encuesta.

4.2.1.- Contexto de aplicación.

Fruto de la reforma educativa del año 2006, llevada a cabo en el marco del Espacio Europeo de Educación Superior (EEES), se imparten en la Escuela de Ingenierías Industriales de la Universidad de Valladolid, los grados de Ingeniería Mecánica, Ingeniería Eléctrica, Ingeniería en Diseño Industrial y Desarrollo de Producto, Ingeniería en Electrónica Industrial y Automática, Ingeniería en Organización Industrial, Ingeniería Química e Ingeniería en Tecnologías Industriales.

El grado en Ingeniería en Tecnologías Industriales, en el que se desarrolla la experiencia, aglutina conocimientos de los diversos ámbitos tecnológicos de la ingeniería (mecánica, eléctrica, electrónica, automática, química y de organización) en la industria. Esta formación científico-técnica estructurada y sólida es esencial para una ingeniería moderna, innovadora, avanzada y de calidad.



La realización de proyectos por parte de los graduados es fruto de los múltiples campos de actividad profesional en los que se encuentran implicados y tradicionalmente ha constituido una actividad profesional en la que los ingenieros han realizado desde tiempos inmemoriales. En el futuro, la sociedad y los distintos sectores industriales, tanto en las grandes industrias como en la pequeña y mediana empresa, o como apoyo a otros profesionales, requerirán que los industriales seguirán siendo imprescindibles para la redacción, ejecución y explotación de proyectos.

Históricamente, dentro de las actividades tradicionales de los ingenieros industriales, se encuentra la redacción de proyectos técnicos. La “Capacidad para la redacción, firma y desarrollo de proyectos en el ámbito de la Ingeniería Industrial que tengan por objeto, la construcción, reforma, reparación, conservación, demolición, fabricación, instalación, montaje o explotación de: estructuras, equipos mecánicos, instalaciones energéticas, instalaciones eléctricas y electrónicas, instalaciones y plantas industriales y procesos de fabricación y automatización”.

Dentro de las competencias que le confiere la planificación de la enseñanza que figura en la memoria de grado del título, figura la competencia y capacidad para diseñar, planificar, redactar, desarrollar, organizar, gestionar y dirigir proyectos.

Estas capacidades requieren que el alumno sea capaz de analizar los antecedentes, fijar los objetivos, planificar el trabajo seleccionando, seleccionar las tecnologías adecuadas, documentando y presupuestando las soluciones seleccionadas. Esta competencia implica ser capaz de definir el alcance del proyecto, especificar las características técnicas y evaluar los aspectos económico-financieros y el impacto económico, social y ambiental del proyecto, permitiendo, en el futuro, introducir mejoras técnicas o ambientales de forma eficaz.

Actualmente, dentro de la oferta educativa española pública, no se tiene constancia de escuelas de ingenierías industriales en la que se imparta BIM en ninguna de las asignaturas relacionadas con proyectos. Hoy por hoy, la formación BIM se suele relegar a cursos de especialización, programas de post-grado, charlas, cursos de los colegios profesionales, cursos de actualización profesional, cursos en academias, etc.

El grado en Ingeniería en Tecnologías Industriales impartido en la Universidad de Valladolid en Escuela Ingenierías Industriales se encuentra organizado en cuatro cursos, que constituyen ocho cuatrimestres de docencia, en los que se imparten un total de 240 créditos ECTS, a razón de 60 créditos por curso académico.



La asignatura “Proyectos Técnicos Industriales” se engloba dentro de las materias de tecnologías industriales y es de carácter obligatorio. Se encuentra dotada de 6 créditos ECTS, de los cuales 2.4 son presenciales y 3.6 no presenciales y se imparte en el cuarto curso, octavo cuatrimestre.

Anteriormente el alumno ha cursado la asignatura de “Proyectos/Oficina Técnica” que se engloba dentro de la materia “Metodología de Proyectos”, materia común a la rama industrial. Esta asignatura está dotada de 4.5 créditos, de los cuales 1.8 son presenciales y 2.7 no presenciales. Esta asignatura está considerada la base para poder cursar la asignatura de “Proyectos Técnicos Industriales”.

En el momento de desarrollar la asignatura de “Proyectos Técnicos Industriales”, al estar planificado que la asignatura se imparta en el último curso, octavo cuatrimestre, el alumno ha cursado las asignaturas comunes al módulo industrial, tales como la inicial de “Metodología de Proyectos”, termodinámica, fluidomecánica, medio ambiente, resistencia de materiales y los fundamentos de producción y fabricación, máquinas eléctricas, ingeniería térmica, estructuras, diseño de sistemas de control, fabricación, sistemas técnicos de potencia, entre otras, lo que posibilita que el alumno diseñe su instalación industrial en el modelo BIM, ya que tiene los conocimientos necesarios que le permite incorporar al mismo, el sistema estructural, compartimental, las instalaciones, la distribución interior...

La asignatura “Proyectos Técnicos Industriales” actúa como nexo de unión y de integración de todos los conocimientos adquiridos en la formación cursada anteriormente por el alumno, en una metodología docente que comprende el Estudio de casos, la Resolución de Ejercicios y Problemas, el Aprendizaje Orientado a Proyectos y un Contrato de Aprendizaje, dentro de un Aprendizaje Colaborativo, en el que la ejecución del proyecto por parte del alumno se realiza en grupos de dos personas.

El alumno parte de conocimientos en los que, fundamentalmente, tiene habilidades y destrezas 2D, seguramente debido a su formación en los cursos preliminares, en las disciplinas obligatorias, básicamente Expresión Gráfica y Dibujo Asistido por Ordenador.

Por lo que se necesita dar un paso importante al enfrentarse por primera vez a un “Modelo 3D”.

Una vez creado el modelo, se implementará en las instalaciones, en función del tipo de instalación industrial proyectada. Posteriormente a tener los modelos



creados, se pueden emplear los mismos para detectar intersecciones, choques entre geometrías...

Pero el verdadero cambio, objeto de la formación dentro de la asignatura de proyectos/oficina técnica, es llegar a tener una noción extendida de lo que significa emplear BIM. No centrarse en las herramientas utilizadas, en nuestro caso Revit®.

El cambio de mentalidad, entre otras cosas, es huir de las entidades geométricas de los programas de CAD, en los que cada elemento geométrico generado son entidades sin apenas “inteligencia”, en los que prácticamente la información accesorio se limita a la capa, color y grosor. Frente a un elemento BIM, en los que cada elemento creado no solamente tiene características geométricas, sino que a su vez se encuentra “jerarquizado”. En Revit®, esta jerarquía comienza con las Disciplinas/ Categorías / Familias/ Tipos / Ejemplares. Este punto debe ser tenido en cuenta en la formación del alumno en entornos BIM.

Para implementar esta curva de aprendizaje, se desarrollan distintos tipos de actividades, en función de la fase en la que se encuentra el grupo de alumnos, tales como Clases de Aula, Seguimiento del trabajo en Laboratorio, Tutorías y Seminarios específicos, sobre todo en implementación de las instalaciones al modelo.

4.2.2.- Resultados esperados

Una vez desarrollada la experiencia en entornos BIM, se espera de los alumnos que asimilen, adquieran destrezas y conocimientos de los siguientes aspectos:

- Conocimiento del ciclo de vida del proyecto/construcción/gestión del activo/demolición/fin de vida.
- Generación de modelos BIM.
- Incorporación de instalaciones MEP, (Mechanical, Electrical, and Plumbing) al modelo BIM.
- Empleo de estándares IFC, (“Industry Foundation Classes”).

4.2.3.- Proceso de Implantación de BIM

Como se ha comentado anteriormente, el Building Information Modeling es una metodología que se lleva a cabo desde la fase de proyecto hasta la gestión de activos, abarcando todo el ciclo de vida del edificio. En nuestro caso contemplamos su implantación en la fase de proyecto mediante la utilización de determinadas herramientas y procedimientos que se expondrán más adelante.

La idea del establecimiento de la citada metodología en las titulaciones de Grado de la Escuela de Ingenierías Industriales, surgió con la intención de llevar a cabo un escalonamiento progresivo, mediante el cual se fuera introduciendo al estudiante en el proceso proyectual configurado a través de esta “nueva filosofía”.

En la asignatura que sirvió de base para la experiencia durante el curso 2012-2013, Proyectos Técnicos Industriales, se impartieron las siguientes materias de carácter teórico: Diseño Industrial (instalaciones y producto); tramitación, dirección y ejecución de proyectos técnicos; estudio de seguridad; impacto ambiental; normativa y legislación (Marcado CE, Análisis del Ciclo de Vida de los productos, Ecodiseño, Ecoeficiencia, Ecoefectividad); calidad en el diseño y en el proceso; e informes técnicos. Asimismo, se llevó a cabo, como trabajo práctico, el desarrollo de un proyecto técnico industrial específico mediante modelado BIM, cuyas características se determinan seguidamente. Todo ello, con la finalidad de que los estudiantes adquiriesen una serie de capacidades genéricas y específicas propias de la titulación, y de que se alcanzaran determinados objetivos que se podrían resumir en la adquisición de destreza en el diseño, redacción y dirección de proyectos técnicos industriales, así como el desarrollo de habilidades para el trabajo en equipo y la exposición del proyecto.

4.2.4.- Fases de la implantación

Para la consecución de los objetivos establecidos, se dispusieron los criterios generales para la elaboración formal de todo proyecto técnico, así como los requerimientos que debía incorporar y su estructura documental.



Se siguieron ordenadamente las siguientes fases

- Propuesta de trabajo.
- Del CAD al BIM.
- Herramientas y procedimientos BIM para el desarrollo del proyecto.
- Proceso secuencial del proyecto y redacción del documento base.

4.2.5.- Propuesta de trabajo

Teniendo en cuenta el limitado número de alumnos que cursaban la asignatura (nueve en total), se planteó la realización de un único proyecto a elaborar en grupo, mediante subgrupos de 2 personas, trabajando mediante compartición del proyecto. De este modo, diferentes usuarios tendrían la posibilidad de intervenir simultáneamente en el mismo modelo virtual de construcción avanzado, llevando a cabo la realización de un modelo base y de determinados subproyectos de estructura e instalaciones. Esta forma de trabajar retroalimentaba los aspectos en los que trabajaba cada alumno con destino al conocimiento global de todo grupo.

El alcance del proyecto consistía en la ejecución de la obra civil, incluyendo instalaciones de calefacción, instalación eléctrica, saneamiento, aire acondicionado e incendios, de un complejo compuesto por un edificio de oficinas y una nave de producción destinada a la fabricación de máquinas de filtración de líquidos de corte, (taladrinas). El grupo de trabajo decidió su ubicación geográfica basándose en los requerimientos de tamaño, orientación y accesos necesarios para asegurar la funcionalidad de la edificación conforme al uso al que estaría destinada. Asimismo, se llevó a cabo un análisis de la situación urbanística, en función de la ubicación seleccionada, a efectos de las condiciones de edificación. Se estableció conjuntamente entre los docentes y el grupo de trabajo, el programa de necesidades a desarrollar en la citada instalación, tanto en la zona de fabricación, como en el área administrativa.

4.2.6.- Herramientas y procedimientos BIM utilizados para el desarrollo del proyecto

Puesto que esta innovación docente que se emprendía en el curso 2013/14 constituía una experiencia piloto en el contexto de la titulación, se eligió, como punto de partida, un programa de modelado accesible al estudiante, con licencia educativa gratuita, mediante el cual fuera capaz de materializar el diseño de un modelo paramétrico de la nave, tanto a nivel geométrico como desde el punto de vista de sus instalaciones y estructuras. Con estas premisas se eligió el programa REVIT 2013 en español, perteneciente a la plataforma BIM de Autodesk, que en una sola aplicación incluye características de diseño arquitectónico, construcción, ingeniería MEP y estructuras. Sin embargo, se informó a los estudiantes sobre el software BIM más utilizado en el ejercicio profesional, en una lista significativa pero limitada que se expone a continuación indicando, en cada caso, cuáles de aquellos programas facilitaban versiones educativas libres.

- Programas BIM de modelado: Autodesk Revit, Allplan, Archicad, Bentley, Vectorworks, Edificius, Framework, Buildingsmart, Arktec,...
- Programas BIM de instalaciones (con extensión MEP, Mechanical, Electrical, Plumbing): Cypecad Mep, Magicad, DDS cad, Tekton,...
- Programas BIM de estructuras: Autodesk Robot, Cypecad, Tricalc, Tekla...
- Programas BIM para mediciones y presupuesto: Presto, Medit (extensión de Revit), MideplanBIM, Bimsync, ENGworks, Cadeosys, 4M IDEA, Primus,...
- Gestión de documentos: Aconex (plataforma de colaboración en línea) y en general sistemas de gestión de documentos (DMS).
- Comprobación de proyectos (chequeo, detección de colisiones) y visualización: Solibri, Tekla BIMsight. (coordinación de modelos), Naviswork de Autodesk, BIM Vision: Visualizador gratuito de modelos IFC en formato 2x3...
- Renderizados: Lumion, Atlantis, 3d Max (Autodesk)...

- Análisis energético y análisis de diseño sostenible, topografía: Green Building Studio (Autodesk), Ecotect (Autodesk), Vasari (Autodesk), Autodesk map, autocad civil 3d.

4.2.7.- Proceso secuencial del proyecto

Una vez que el alumnado fue consciente de que BIM constituye un vehículo fundamental en la vida del proyecto, dio comienzo la experiencia.

En primer lugar se realizó el diseño y el modelado general del conjunto con Revit 2013. La edificación, a ubicar en el Parque Tecnológico de Valladolid, estaría compuesta de dos zonas independientes: una nave de producción de planta rectangular de dimensiones 60 x 20 metros, altura máxima a cumbrera de 8 metros y cubierta a dos aguas; y un núcleo de oficinas de planta cuadrada de 15 metros de lado, dos plantas y totalmente acristalado mediante muros cortina. Ambas construcciones se comunicarían a través de una pasarela cubierta igualmente acristalada.

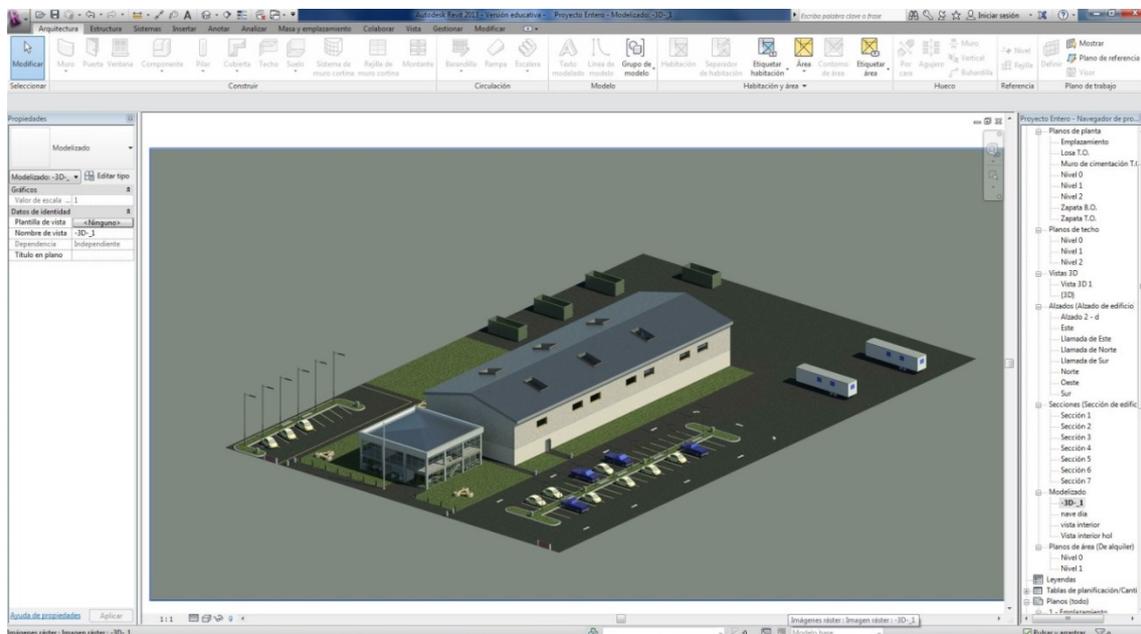


Figura 17. Perspectiva isométrica. Resultado final del conjunto diseñado

En la fase de diseño, en la que se obtuvo el modelo arquitectónico BIM de la nave y su edificio anexo, el grupo trabajó en conjunto, sobre un único proyecto, enfrentándose a los problemas que iban surgiendo, propios de la primicia que suponía la aplicación de la nueva metodología y, como exponíamos anteriormente, el cambio de tendencia que suponía ir construyendo el edificio progresivamente frente al anterior e ir dibujándolo. En ese sentido, en los sistemas CAD dos líneas paralelas adquieren el significado que el proyectista quiera otorgarles: pueden constituir un muro de cerramiento exterior, una partición interior, un remate de cubierta, un marco de ventana o, incluso, una conducción eléctrica. Por sí mismas y aisladas de su entorno, esas líneas pertenecientes a un plano (2D), carecen de significado específico. Sin embargo, en la filosofía BIM, cada uno de los elementos que se vayan incorporando al modelo paramétrico (3D) contiene una identidad propia. De este modo, frente al “cascarón” vacío que constituye un modelo CAD, obtenemos un paradigma de datos que constituye el modelo BIM (figura18).

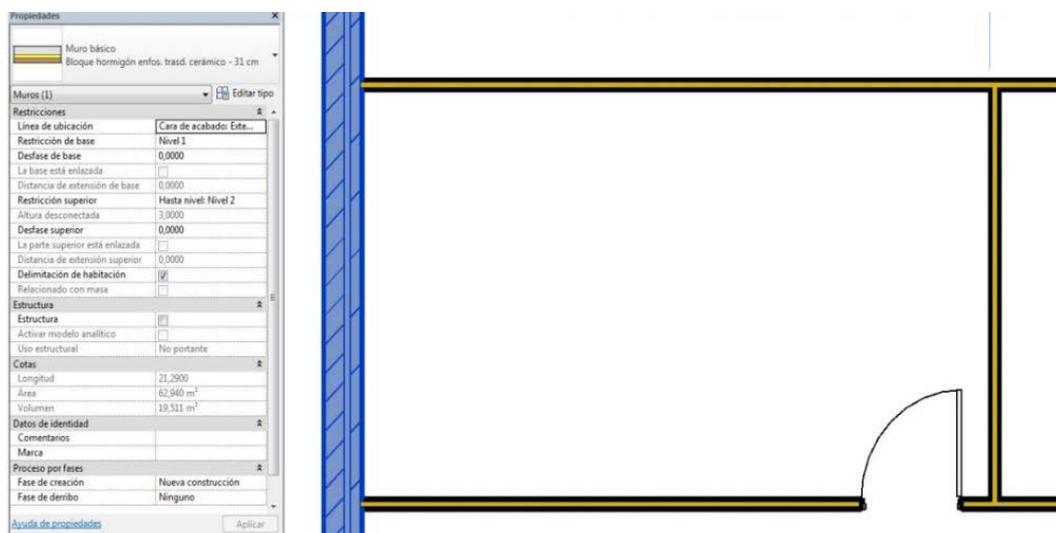


Figura 18. Representación, características y datos de un muro de cerramiento de la nave diseñada por el grupo de trabajo

Una vez construido virtualmente el objeto, resultaba inmediata la realización de las vistas 3D y 2D: plantas, alzados, secciones, perspectivas, renderizados, etc.

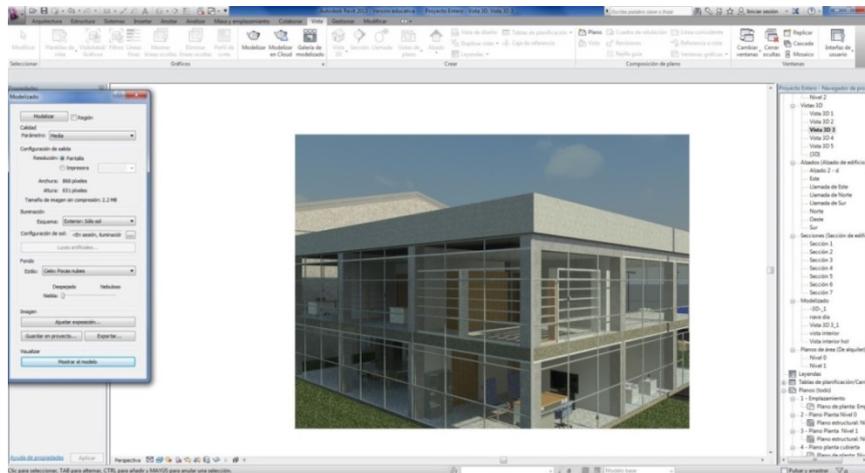


Figura 19. Perspectiva del edificio de oficinas diseñado por el grupo de trabajo

Es importante reseñar que, durante todo el proceso proyectual, se utilizó el sistema educativo comentado anteriormente denominado SAAC (Sistema de Aprendizaje Activo Colaborativo).

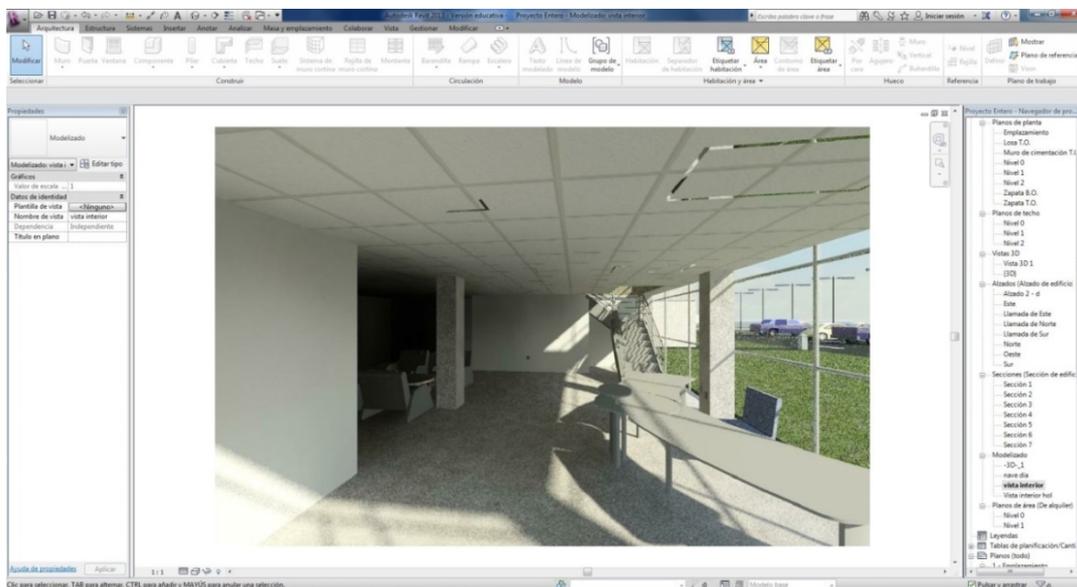


Figura 20. Interior del edificio de oficinas diseñado por el grupo de trabajo

Reanudando el proceso de implantación de BIM y tras obtener el modelo virtual arquitectónico de la nave, el siguiente paso consistió en dividir el grupo de trabajo en equipos de dos personas que se harían cargo de los subproyectos vinculados al modelo base que constituirían el diseño y modelado de su estructura portante, así como de las instalaciones del conjunto. Para ello, se utilizaría el mismo programa, Revit 2013, pero ahora en sus aplicaciones Revit Structure y Revit MEP. Partiendo del modelo arquitectónico inicial, se acometió este trabajo con bastantes más problemas que en la fase anterior que se irán comentando a continuación.

En la fase de diseño y modelado de estructuras, se partió de los siguientes supuestos: la nave de producción tendría una estructura metálica a base de pilares HEB y cerchas metálicas, mientras que el edificio de oficinas se sustentaría con estructura de vigas y pilares de hormigón “in situ”, situados estos últimos en la planta en una retícula de 5 x 5 m. A su vez, la cimentación se realizaría con zapatas de hormigón aisladas bajo pilar, unidas por vigas riostras.

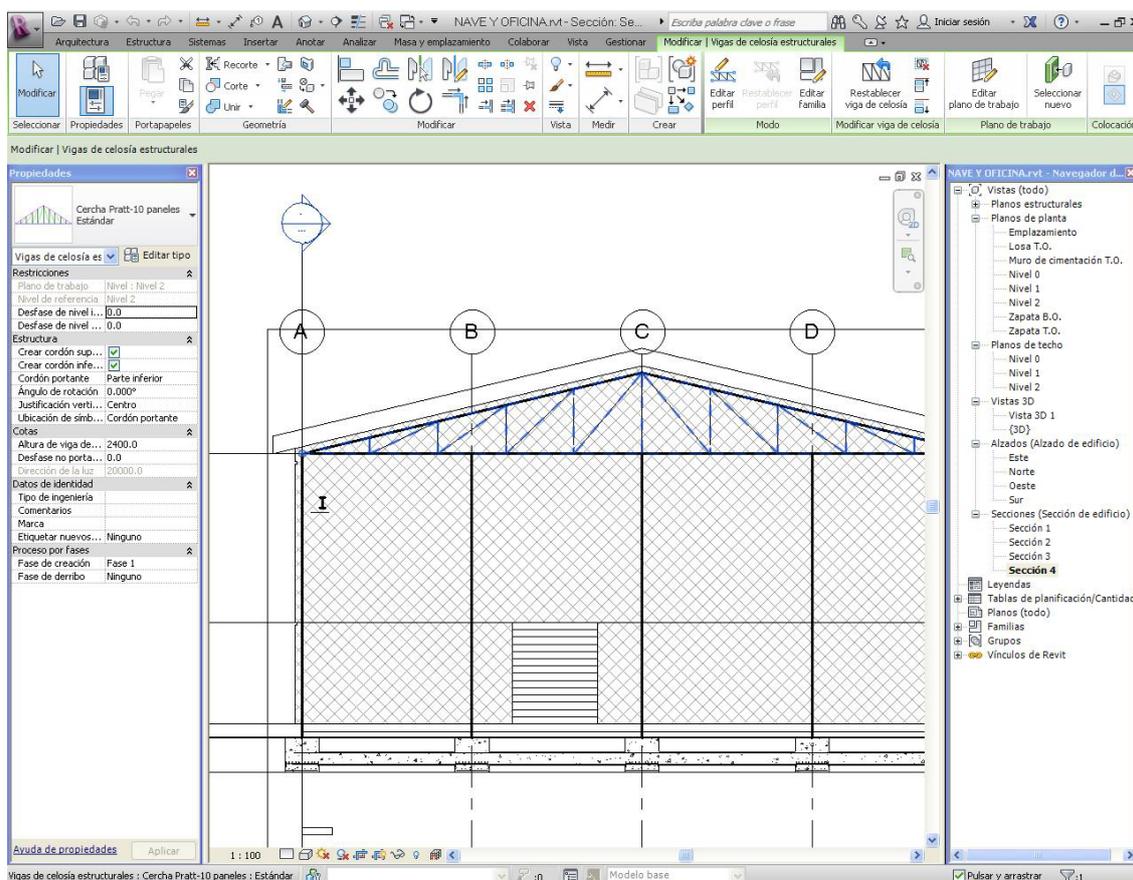


Figura 21. Diseño de estructura metálica de la nave por parte de un equipo de trabajo



Mientras que el modelado de la estructura metálica del área de fabricación se llevó a cabo de un modo bastante eficaz aún con los contratiempos que supuso el análisis del nuevo módulo Revit Structure, la inclusión de la estructura de hormigón no fue tarea fácil y los resultados no fueron los esperados. Una vez modelados los elementos estructurales, pilares y vigas, se procedió a la colocación, prácticamente manual, de las barras de tracción, compresión, estribos... Previamente a este paso, hubo que cargar la familia de armados, puesto que determinados elementos no estaban disponibles inicialmente en el programa. Las familias utilizadas en el proyecto podrán ser las que presenta por defecto en Revit, otras externas o bien familias propias creadas por el propio proyectista, en este caso por los alumnos.

Tras el modelado de la estructura completa, los elementos geométricos y sus correspondientes armaduras, quedó bien patente la necesidad de acudir a un software específico de cálculo de la estructura, de forma que desde Revit se exportara a dicho programa todo el entramado geométrico modelado y, una vez obtenido los resultados de dicho cálculo, se pudieran implantar de nuevo en el modelo original. Algo similar ocurrió con el armado de las zapatas y vigas de atado de la cimentación.

En cuanto al diseño de las instalaciones, los problemas surgieron principalmente por el hecho de que Revit MEP, no se ajusta a la normativa española. En el caso concreto de la instalación de electricidad, hubo que gestionar una nueva configuración eléctrica, redefiniendo los voltajes que presenta el programa en su origen americano y añadiendo los necesarios de 230V y 400V a la nueva configuración. Igualmente se creó un sistema de distribución adecuado a nuestro uso, así como otro tipo de configuraciones de otros parámetros tales como: secciones de cables, tipos de aislantes, etc. Posteriormente se procedió a la ubicación de los elementos, dispositivos y equipos eléctricos previstos, adaptándolos al nuevo sistema de distribución creado anteriormente.

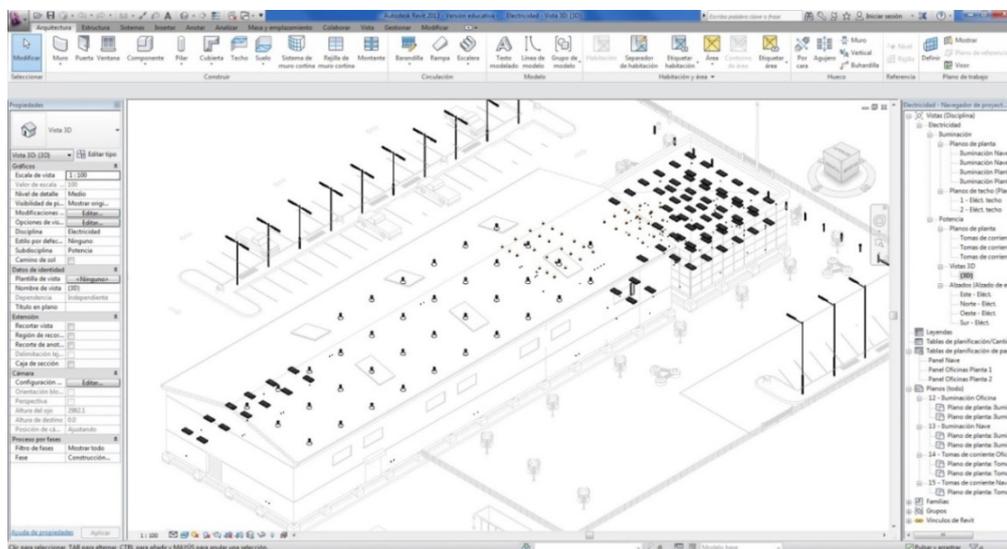


Figura 22. Vista 3D de la Instalación eléctrica diseñada por un equipo de trabajo

Sin embargo, la situación más crítica se produjo al acometer el trabajo relativo a las Instalaciones de fontanería. Tras intentos poco acertados de modelado en Revit, el equipo encargado del trabajo decidió exportar los datos a un programa de CAD 2D y continuar de esta manera con el diseño de las citadas instalaciones. Esto fue debido, en parte, a la necesidad de encontrar soluciones para poder finalizar el proyecto en conjunto y proceder a su exposición y entrega en las fechas previstas en el calendario académico. Se era consciente de que al dar ese paso se “agrietaba” en cierto modo el proceso iniciado en BIM, alejándonos de la metodología comenzada. Aparentemente, se daba un paso hacia atrás, regresando a las 2d tan alejadas del concepto BIM. No obstante, aquello no se percibió como un fracaso, sino como un nuevo punto de partida en el escalonamiento que se estaba llevando a cabo. Igualmente, se tomó conciencia de que la estrategia de implementación de BIM quizá debería contemplar el modo en que las nuevas soluciones pudiese coexistir, en sus etapas más tempranas, con aplicaciones de diseño 2D. Esta situación hizo reflexionar sobre la postura de abandono masivo de las citadas aplicaciones, llegando a la conclusión de que en las etapas iniciales, o bien se podría decir que en las etapas PRE_BIM, quizá pudiera resultar práctico considerar la posibilidad de importación/exportación de CAD. Ahora bien, resulta evidente que a medida que se va ampliando la implantación, deben retirarse los sistemas antiguos al resultar claramente antagónicos.



Una vez obtenido el modelo de la nave de fabricación y oficinas objeto del proyecto, sus instalaciones y su estructura, se procedió a la materialización de toda la documentación técnica: memoria y anejos, planos, pliego de condiciones, mediciones y presupuesto. Para la elaboración de las mediciones se utilizaron las tablas de planificación que presenta Revit a través de la gestión de datos introducidos durante todo el proceso del proyecto. Por último, en la fase de presupuesto se utilizó el programa Presto que, si bien, no es propiamente BIM, tiene interoperabilidad con aplicaciones BIM, lo cual permite obtener de los modelos la información que sea necesaria para la materialización del presupuesto.

4.2.8.- Análisis: Percepción de los docentes y alumnos

Una vez concluido el trabajo, todos los participantes de la experiencia eran plenamente conscientes de la necesidad de implantar BIM dentro de los planes de estudio de Ingeniería en la Universidad pública, que a día de hoy es la más demandada en España. En la actualidad, y debido principalmente a la fuerte crisis económica que sufre este país, es un hecho probado que una inmensa mayoría de los ingenieros aquí formados tienen que desarrollar su profesión en cualquier parte del mundo. Desde esta perspectiva, el conocimiento de BIM por parte de estos profesionales les puede facilitar la tarea de la incorporación del egresado a nivel internacional.

El grupo de alumnos elegido, conocido anteriormente por los docentes implicados, no era un grupo numeroso, como se ha comentado, estaba cohesionado y con ganas de afrontar nuevos retos.

En cuanto a los medios puestos a disposición de los alumnos, se consideró en su momento que eran suficientes para poder hacer frente a esta situación. Al menos en cuanto a espacio físico, medios informáticos y en software disponibles.

Igualmente se conocía que el nivel de información en BIM sobre materiales en España es bajo, aunque se nota una gran sensibilidad por parte de las empresas que trabajan en el mundo del proyecto, para adaptarse a este nuevo modelo.

También se analizó la posibilidad de que pudieran surgir problemas a la hora de combinar archivos con otros programas.



La experiencia ha exigido un contacto muy directo con el alumnado, detectándose muchos fallos de comprensión y manejo dentro de los programas que, al contrario de lo esperado en un principio, ha dilatado bastante el proceso.

El tiempo empleado por los estudiantes a veces parecía excesivo, principalmente debido a que los manuales existentes no eran suficientemente claros, debido al lenguaje y la terminología. Sin embargo, cuando las partes involucradas en el proceso se van familiarizando y adquiriendo habilidades propias de la nueva metodología, el trabajo en BIM propicia un acelerado proceso en la fase de diseño en comparación con la utilización de los tradicionales métodos CAD.

Existe un problema también importante en los programas con las diversas normativas existentes en los diferentes países, sobre todo en instalaciones, lo cual también ha ralentizado mucho el proceso de aprendizaje.

Aunque los alumnos han demostrado su implicación desde el principio, se ha detectado que se necesita una fuerte concienciación a todos los niveles en el mundo del proyecto a nivel español sobre BIM.

Globalmente, la experiencia ha resultado satisfactoria y alienta a continuar su desarrollo. En este sentido, resulta evidente que la siguiente fase del proceso de implantación de BIM debería consistir en el cálculo de todo aquello prediseñado en la fase de modelado, utilizando para ello programas específicos, tanto de instalaciones como de estructuras. La interoperabilidad entre los programas de modelado y de cálculo, se lleva a cabo mediante los archivos IFC, "Industry Foundation Classes". Como se ha comentado previamente, se trata de un formato de datos de especificación abierta desarrollado por el IAI (International Alliance for Interoperability) con el objetivo de convertirse en un estándar que facilite la citada interoperabilidad entre programas de BIM. Las clases y objetos IFC representan un modelo de información tanto geométrico como alfanumérico, que facilita la posibilidad de que todos los programas de software que soportan IFC pueden leer y escribir información e intercambiarla con otros programas. Indudablemente, la funcionalidad no es total entre aplicaciones, pues cada programa tiene su espacio propio. Sin embargo, el sólo hecho de poder traspasar de un programa a otro un objeto y sus relaciones geométricas, supone un gran ahorro de tiempo y constituye una herramienta eficaz para el desarrollo del proyecto, la entrega, la documentación "as-built" o la gestión del mantenimiento (IFC Workshop, 2015)



4.2.9.- Análisis Estadístico.

Un análisis estadístico descriptivo de los resultados de las encuestas realizadas a los alumnos se presenta en La tabla 55 y la figura 23.

	Media	Mediana	Moda	Desviación Estandar	Kurtosis	Skewness
pregunta 1	3,89	4,00	4,00	0,78	-1,04	0,22
pregunta 2	4,22	4,00	4,00	0,67	-0,04	-0,25
pregunta 3	3,56	4,00	4,00	1,13	-1,17	-0,18
pregunta 4	3,11	3,00	3,00	0,78	-1,04	-0,22
pregunta 5	3,33	3,00	3,00	1,12	-0,80	0,54
pregunta 6	3,22	4,00	4,00	1,39	-0,30	-0,86
pregunta 7	4,11	4,00	4,00	0,78	-1,04	-0,22
pregunta 8	3,22	3,00	3,00	1,09	2,02	-0,55
pregunta 9	2,67	3,00	3,00	1,32	-0,31	0,37
pregunta 10	3,33	3,00	3,00	0,87	0,83	0,66
pregunta 11	4,22	4,00	5,00	0,83	-1,28	-0,50
pregunta 12	3,11	3,00	3,00	0,93	1,35	0,94
pregunta 13	3,78	4,00	4,00	0,67	-0,04	0,25
pregunta 14	3,89	4,00	3,00	0,93	-2,02	0,26
pregunta 15	3,44	4,00	4,00	1,33	-0,15	-0,66
pregunta 16	3,44	4,00	4,00	1,24	0,76	-1,11
pregunta 17	3,67	4,00	3,00	0,71	-0,29	0,61
pregunta 18	3,11	3,00	3,00	0,78	-1,04	-0,22
pregunta 19	3,11	4,00	4,00	1,27	-0,15	-1,20
pregunta 20	3,67	4,00	4,00	1,00	-0,64	-0,11

Tabla 55. Análisis estadístico de los resultados de las encuestas

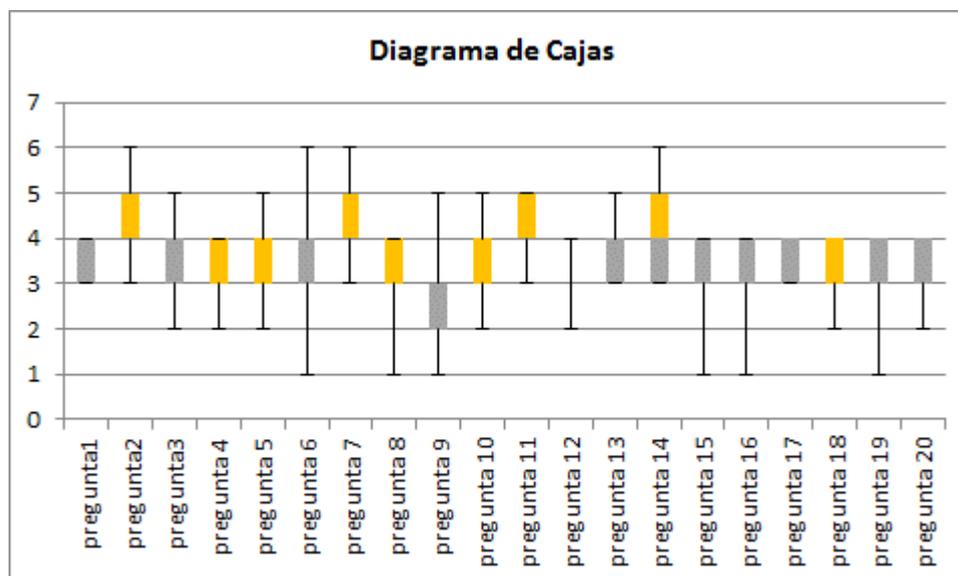


Figura 23. Diagrama de cajas para las respuestas de los alumnos

Por otra parte, se consideró interesante explorar el impacto que la herramienta BIM pudiera tener en el uso de la metodología colaborativa. Para ello se eligieron 6 de las 13 preguntas (preguntas 1, 3, 5, 10 y 12) de los 2 primeros bloques. Para simplificar el número de variables se realizó un análisis estadístico empleando un análisis factorial exploratorio (Gorsuch, R. L., 1983). Dado que las respuestas de las encuestas están cifradas en una escala no continua, el análisis factorial fue calculado mediante el uso de la matriz de correlación policórica. La adecuación de la matriz de dispersión se realizó mediante el índice Kaiser–Meyer–Olkin (KMO). El número de factores a seleccionar (o componentes) se seleccionó aplicando la regla de Guttman-Kaiser rule (autovalores ≥ 1), el porcentaje de variabilidad acumulada ($\geq 80\%$ en total), y el test Cattell's screen test. El método de extracción fue el análisis de las (components principals) (PCA), y la solución fue rotada mediante rotación varimax para conseguir una mayor simplicidad y una mejor identificación de los factores (Kaiser, H. F., 1958).

La matriz de correlación y los resultados de adecuación mediante el índice KMO se muestran en las tablas 56 y 57.

VARIABLES	pregunta 1	pregunta 3	pregunta 5	pregunta 8	pregunta 10	pregunta 12
pregunta 1	1	0,587	0,792	0,582	0,586	0,479
pregunta 3	0,587	1	0,386	0,445	0,952	0,145
pregunta 5	0,792	0,386	1	0,314	0,409	0,514
pregunta 8	0,582	0,445	0,314	1	0,532	0,574
pregunta 10	0,586	0,952	0,409	0,532	1	0,207
pregunta 12	0,479	0,145	0,514	0,574	0,207	1

Tabla 56. Matriz de correlación policórica

pregunta 1	0,647
pregunta 3	0,589
pregunta 5	0,542
pregunta 8	0,543
pregunta 10	0,600
pregunta 12	0,644
KMO	0,593

Tabla 57. Medida de adecuación muestral de Kaiser-Meyer-Olkin (KMO)

El número de factores extraído fue 3 (figura 24)

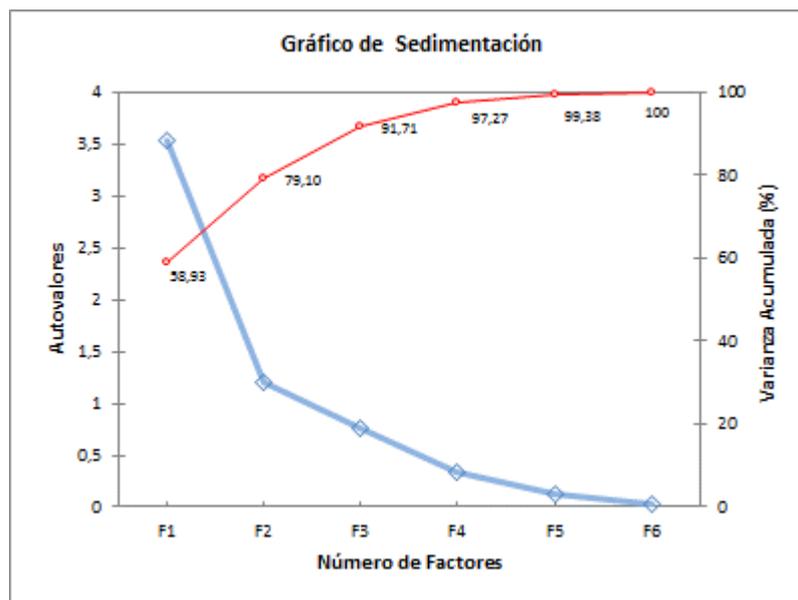


Figura 24. Gráfico de Sedimentación

Tras la rotación Varimax se puede observar que el factor D1 se asocia a las preguntas 3 y 10, el factor D2 a las preguntas 1 y 5 y el factor D3 a las preguntas 12 y 8, tal y como refleja la tabla 58. Las cargas factoriales se representan en la figura 25.

	D1	D2	D3
pregunta 1	0,454	0,746	0,331
pregunta 3	0,951	0,213	0,083
pregunta 5	0,189	0,946	0,160
pregunta 8	0,426	0,079	0,844
pregunta 10	0,941	0,200	0,180
pregunta 12	-0,077	0,435	0,816

Tabla 58. Factores después de rotación

La interpretación del primer factor relaciona la dificultad de BIM y su nivel de aprendizaje tras la experiencia docente. El factor segundo refleja el grado de interés de BIM por parte de los alumnos, y el tercer factor muestra la dificultad e interés de los alumnos por la aplicación de modelado empleada.

Se observa cómo relacionando los factores 1 y 2, en casi el 50% de los alumnos que mostraban interés por el uso de la herramienta BIM, reconocen que han aprendido en su uso, siendo el 33% de los alumnos los que, afirmando no tener interés en la herramienta, reconocen que no han aprendido lo suficiente. Algo más del 22% de los alumnos reconocen que han aprendido a utilizar la herramienta aunque no tenían interés por ella.

Se observa también una relación directa entre los factores 2 y 3, y 1 y 3. La herramienta para el modelado y el uso de BIM están directamente relacionadas, así como el sentido de su utilidad. De este modo, emplear una herramienta de modelado adecuada facilita la incorporación de la herramienta BIM.

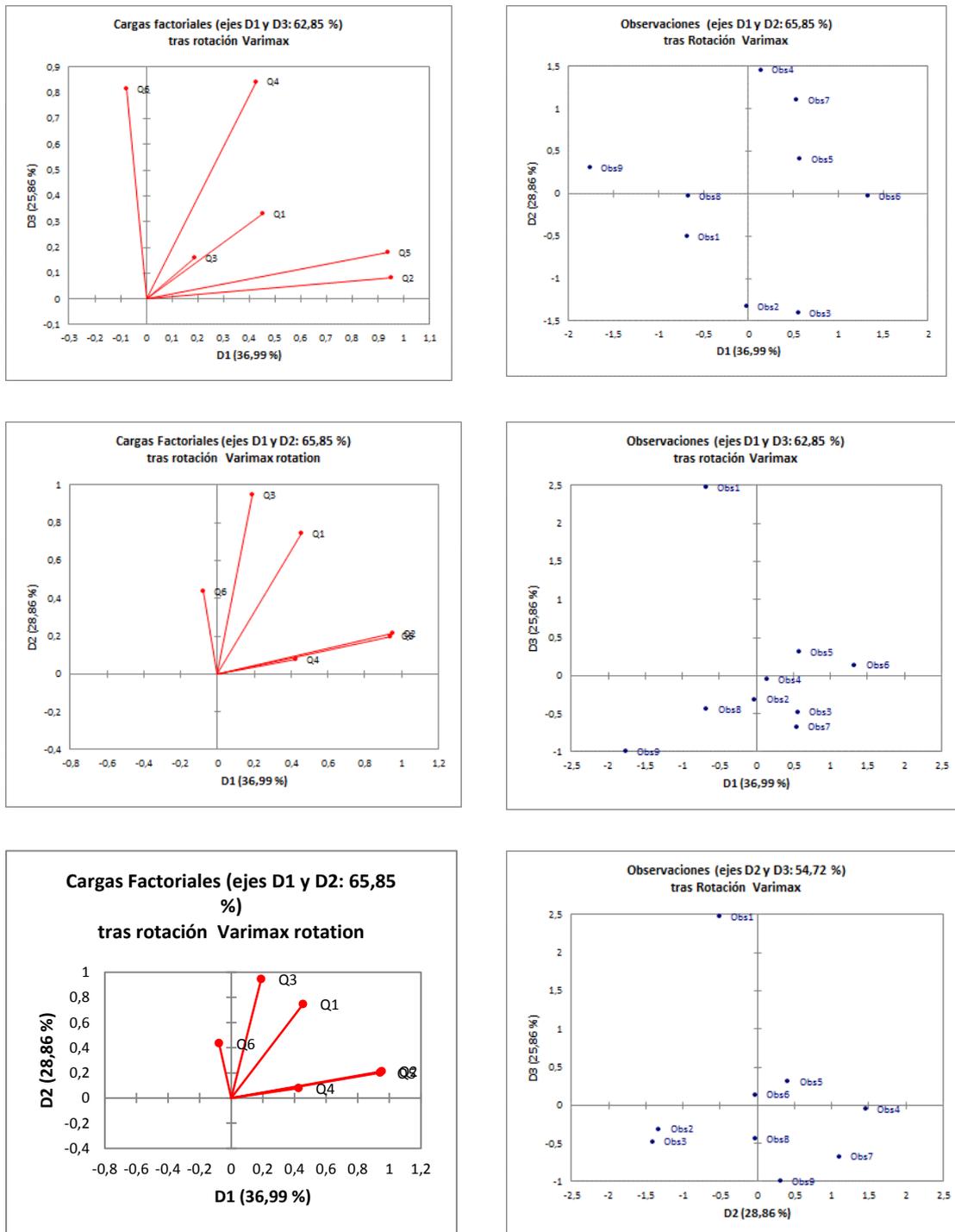


Figura 25. Observaciones y Cargas factoriales tras Rotación Varimax

El uso de la herramienta BIM no ha dificultado el entorno colaborativo esperado



al aplicar la metodología colaborativa para la docencia de proyectos técnicos. Se debe tener en cuenta que la implementación BIM era completamente novedosa para el estudiante y, como muestran los resultados de la percepción del estudiante, el uso de las herramientas de modelado tiene influencia sobre los resultados del aprendizaje.



4.3.- Aplicación en un entorno industrial: Evaluación alternativas de diseño conceptual de un puesto de trabajo en la industria del sector metal utilizando la metodología planteada.

Los estudiantes en el proceso de realización de su trabajo fin de grado y actividades de postgrado, tienen la posibilidad de incorporarse en un entorno real de trabajo dentro de las disciplinas de una empresa. La realización de su trabajo fin de grado y las actividades marcadas en el proyecto de prácticas y/o becas de postgrado, puede ser llevada a cabo con la ayuda de una metodología colaborativa como la que se plantea en este trabajo. Como se ha comentado, la bibliografía científica propone, como una línea de actuación en materia de aprendizaje colaborativo, la utilización de métodos colaborativos en este tipo de tareas. Siguiendo esta línea, el sistema de aprendizaje propuesto, se ha experimentado en un escenario industrial. En concreto, una pequeña empresa del sector del metal, en la que se desarrollan nuevos productos a la vez que se implantan, generalmente en grandes empresas, y posteriormente se ocupan del mantenimiento de los equipos implantados.

Se ha utilizado una herramienta de decisión para valorar las distintas soluciones aportadas. Al tratarse de una evaluación con problemática compleja, se ha elegido como método de decisión multicriterio el Proceso Analítico Jerárquico (AHP), tal y como se plantea en la metodología propuesta.

En el caso de estudio, se pretende desarrollar un nuevo proyecto que afecta al puesto de doblado. Dicho puesto es ocupado por un operario, y la mayor parte de las tareas se realizan de forma manual.

El proceso habitual de trabajo presenta 3 tareas: captura de material, introducción en máquina y doblado, y almacenamiento de producto terminado. En este caso el producto final es un aro de 890 mm de diámetro interior. El material de partida es un perfil L 60x60x6 mm de 3050 mm de longitud y un peso de 23 kg. Se ha estimado un tiempo para el proceso de fabricación de una pieza de las características descritas anteriormente de unos 7 minutos (desde la cogida del material hasta el almacenaje del producto final).

Ante la posibilidad de realizar un nuevo proyecto, y teniendo en cuenta los resultados que se están obteniendo en los distintos puestos de trabajo que actualmente tiene la empresa, se plantea como objetivo evaluar las distintas alternativas de diseño de los puestos de trabajo de la empresa y seleccionar la más conveniente (etapa 1 de la metodología).

Para la fabricación del nuevo producto se pretende mejorar el proceso de producción, rediseñando el puesto de trabajo actual. Como opciones para el nuevo puesto de trabajo se estudia la adaptación del puesto, utilizando dicho puesto para el nuevo producto a fabricar tal y como está actualmente, sin ninguna modificación (Alternativa A), una mejora en la adaptación del puesto actual al operario y al nuevo producto (Alternativa B), y una automatización del puesto de trabajo actual para el nuevo producto reduciendo al máximo la mano de obra del puesto de trabajo (Alternativa C) (figura 26). Las diferentes propuestas son generadas por un equipo de 2 personas (etapas 2 y 3 de la metodología).

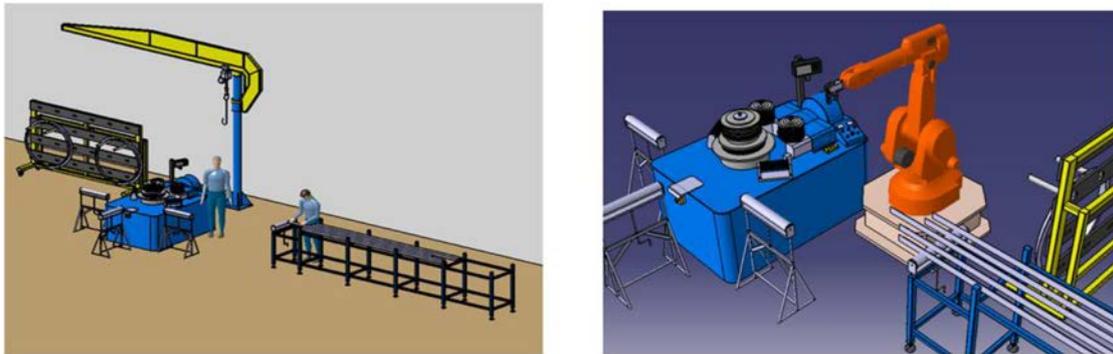


Figura 26. Alternativas de diseño puesto de trabajo (alternativa B imagen izquierda, y C imagen derecha)

Los diseños del puesto de trabajo se han realizado en un entorno virtual 3D con la ayuda de un modelo humano digital para las valoraciones ergonómicas (posturas, repetición, contactos, manejo de cargas, visibilidad).

Los datos disponibles para el puesto de trabajo actual (Alternativa A) han sido utilizados para validar la metodología virtual de trabajo en 3D. De este modo, se ha trabajado en un entorno de simulación 3D para las 3 alternativas planteadas (figuras 27 y 28). Para la alternativa C se ha evaluado la accesibilidad del robot, así como el estudio cinemático mediante un modelo de simulación 3D (figura 29).

Se ha incorporado un robot comercial, generando la célula de trabajo robotizada que se muestra en la figura 29. La célula se instalaría en la planta de fabricación dentro de un vallado perimetral de seguridad (no mostrado en la figura 29) que separa las operaciones realizadas por el robot y las realizadas por el operario. Esta alternativa utilizaría los mismos contenedores diseñados para la alternativa B.

Para la correcta realización de las operaciones por parte del robot, se ha diseñado una garra específica para el producto, que permita el manejo de la materia prima, la introducción y guiado en máquina, así como la evacuación y almacenaje del producto terminado.

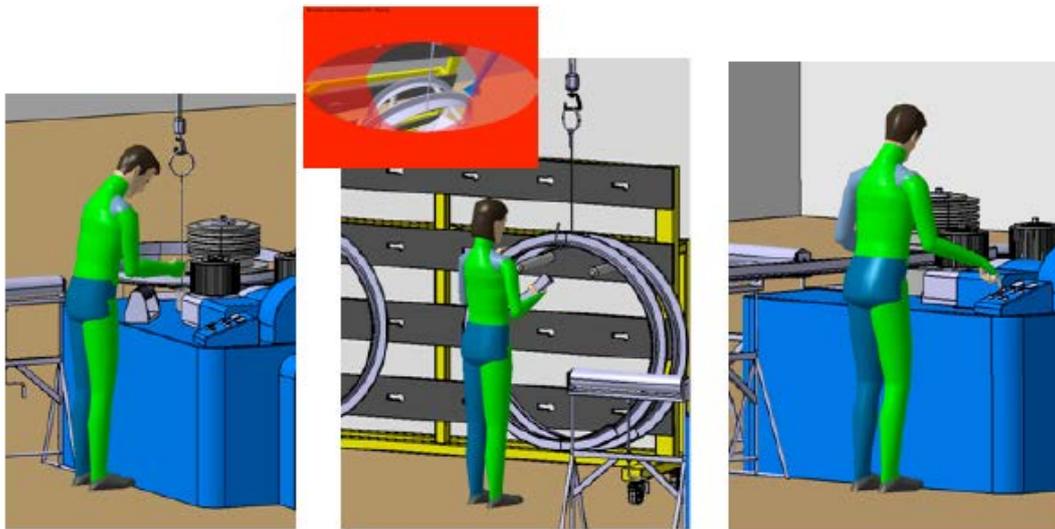


Figura 27. Entorno simulación 3D

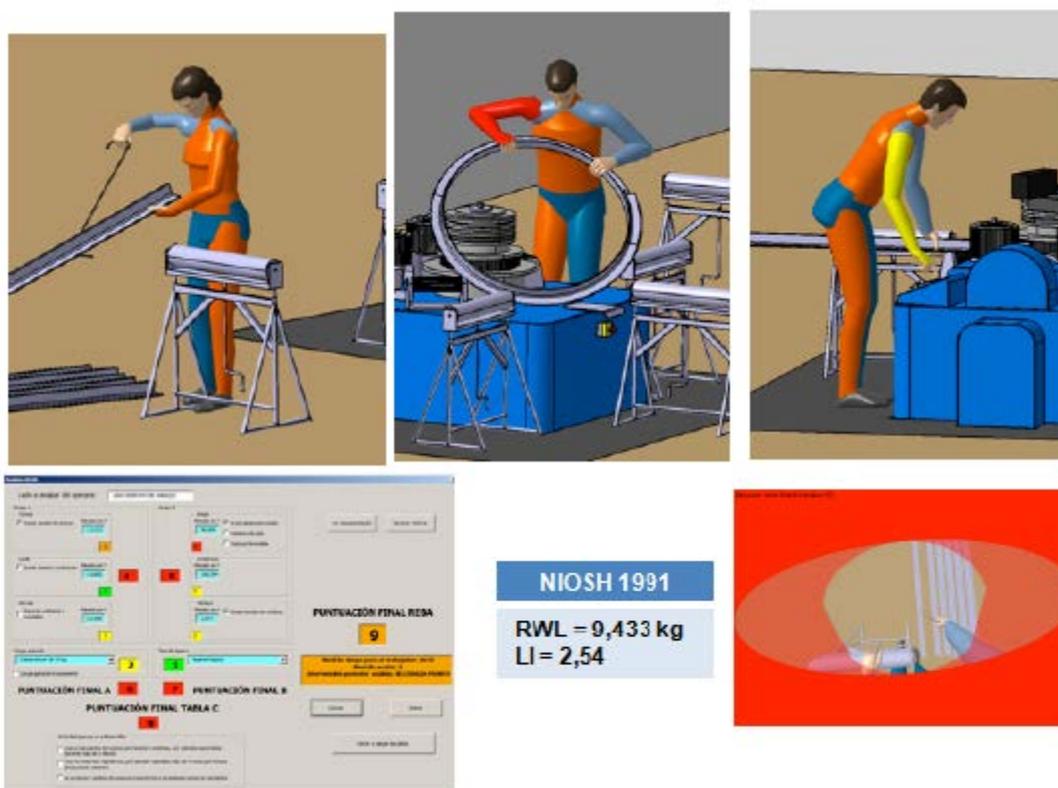


Figura 28. Entorno simulación 3D. (2)

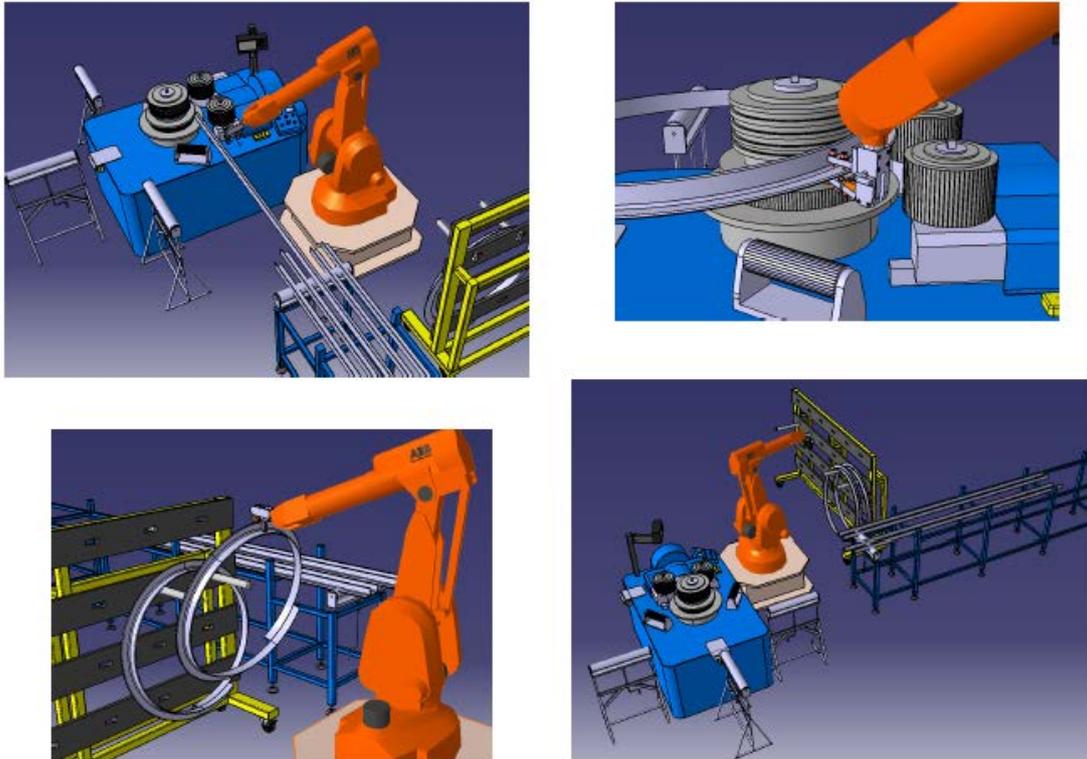


Figura 29. Integración Robot

Para evaluar cada una de las alternativas se emplean los criterios y estándares definidos en la metodología colaborativa utilizada, según el impacto que dichos puestos generan en la empresa respecto a la productividad, inversión y su retorno, seguridad, ergonomía, mantenimiento, diversidad, sostenibilidad, calidad y fidelización del cliente. Se pretende una evaluación cuantitativa según una escala de fácil interpretación.

Los resultados obtenidos para la valoración de cada criterio se han clasificado según una escala de 1 a 3, donde 1 representa una opción óptima, 2 una opción a mejorar y 3 una opción no aceptable (ver tabla 59). La toma de decisiones se realizó siguiendo un proceso jerárquico (figura 30).

Criterio	Sub-criterio	Alternativa		
		A	B	C
Ergonomía	Postura	3	1	1
	Ruido y vibraciones	3	3	3
	Accesibilidad	3	1	1
	Visibilidad	1	1	1
	Manejo de cargas	3	1	1
Inversión		1	2	3
Retorno de la Inversión (ROI)		1	1	2
Mantenimiento		1	1	2
Sostenibilidad	Mejora en las condiciones de trabajo	3	1	1
	Eficiencia	3	1	2
	Emisiones	1	1	1
	Eficiencia Energética	1	1	2
Diversidad		1	1	2
Productividad		3	1	1
Calidad		2	1	1
Seguridad	Daños por calor	3	1	1
	Daños por contacto eléctrico	2	1	1
	Daños por contacto mecánico	2	2	1
Fidelización del cliente		3	2	1

Tabla 59. Valores obtenidos mediante las herramientas y estándares elegidos en la metodología. Puntuaciones siguiendo la escala 1 (valor óptimo) a 3 (valor no aceptable) definida para cada criterio.

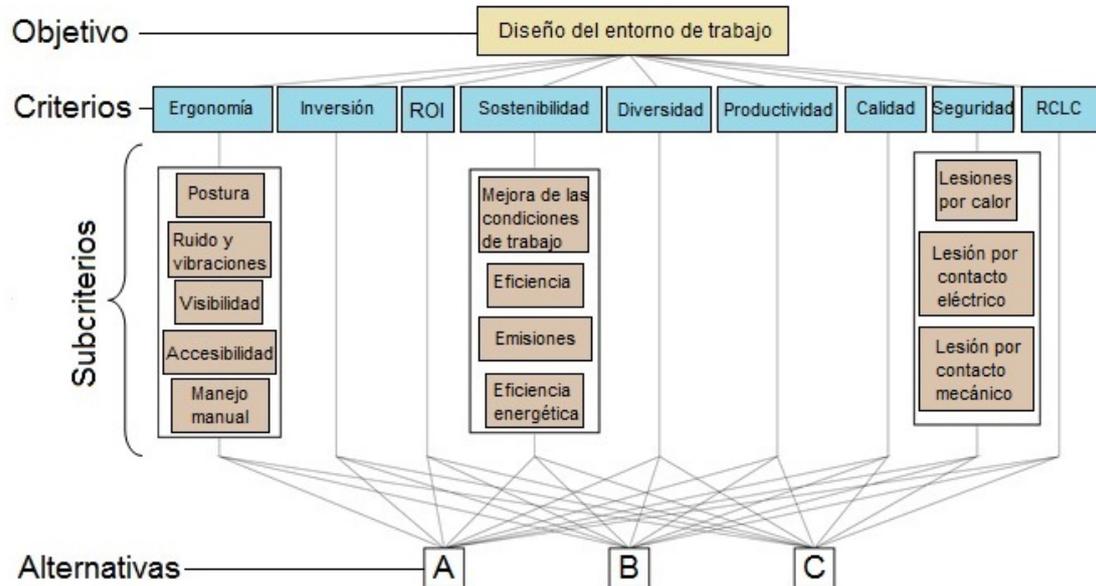


Figura 30. Diagrama Jerárquico de Decisión para evaluar los distintos diseños del puesto de trabajo

La priorización final de alternativas se realizó mediante el uso del método AHP (etapa 4 de la metodología). En este caso, se contó con la intervención de 4 decisores pertenecientes a la disciplina de la empresa: Responsable de Ingeniería, Responsable de Producción, Responsable de Calidad y Equipo de Diseño de Proceso (2 personas por grupo, uno de ellos estudiante, siguiendo la etapa 2 de la metodología).

Para realizar una comparativa por pares de cada uno de los criterios se ha utilizado la escala lineal de 1 a 9 descrita por Saaty. Se obtienen las matrices “A₁, A₂, A₃ y A₄” de comparación con respecto al objetivo para los diez criterios elegidos, según cada uno de los juicios individuales de cada participante. De igual modo, se calculan las matrices de comparación “E”, “S” y “Ss” para los subcriterios de ergonomía, seguridad y sostenibilidad (tabla 60).

Mediante el método RGGMM obtenemos los vectores de prioridad w_1 , w_2 , w_3 , w_4 , para las matrices “A₁, A₂, A₃ y A₄”, según cada uno de los juicios individuales de cada participante, así como los vectores de prioridad con respecto a los subcriterios ergonomía “ w_e ”, seguridad “ w_s ” y sostenibilidad “ w_{ss} ” respectivamente (tabla 60).

Matriz	Matrices de Comparación por pares	Vector Pesos Local (RGMM)
A ^[1] (Decisor 1). Criterios C ₁C ₁₀ respecto al objetivo	$A_1 = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 2 & 4 & 1/3 & 1 & 1/2 & 2 & 1/2 & 1 \\ 1 & 1 & 1/2 & 2 & 1/3 & 1/3 & 1/3 & 1/2 & 1/2 & 2 \\ 1/2 & 2 & 1 & 2 & 1/2 & 1/3 & 1 & 1 & 1/2 & 2 \\ 1/4 & 1/2 & 1/2 & 1 & 1/5 & 1/3 & 1/3 & 1/2 & 1/3 & 1 \\ 3 & 3 & 2 & 5 & 1 & 2 & 2 & 3 & 3 & 3 \\ 1 & 3 & 3 & 3 & 1/2 & 1 & 3 & 2 & 1 & 3 \\ 2 & 3 & 1 & 3 & 1/2 & 1/3 & 1 & 1/2 & 1/3 & 2 \\ 1/2 & 2 & 1 & 2 & 1/3 & 1/2 & 2 & 1 & 1/3 & 2 \\ 2 & 3 & 2 & 3 & 1/3 & 1 & 3 & 3 & 1 & 3 \\ 1 & 1/2 & 1/2 & 1 & 1/3 & 1/3 & 1/2 & 1/2 & 1/3 & 1 \end{bmatrix}$	$w_1 = \begin{bmatrix} 0.09 \\ 0.06 \\ 0.08 \\ 0.04 \\ 0.22 \\ 0.15 \\ 0.09 \\ 0.08 \\ 0.15 \\ 0.05 \end{bmatrix}$
A ^[2] (Decisor 2). Criterios C ₁C ₁₀ respecto al objetivo	$A_2 = \begin{bmatrix} 1 & 1/2 & 2 & 5 & 1 & 1 & 3 & 3 & 1 & 1 \\ 2 & 1 & 2 & 3 & 1/2 & 1/3 & 1/2 & 1/2 & 1/2 & 2 \\ 1/2 & 1/2 & 1 & 2 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1/2 & 1 \\ 1/5 & 1/3 & 1/2 & 1 & 1/3 & 1/3 & 1/2 & 1/2 & 1/3 & 1 \\ 1 & 2 & 1 & 5 & 1 & 1 & 2 & 2 & 1 & 1 \\ 1 & 3 & 1 & 3 & 1 & 1 & 2 & 1 & 1 & 1 \\ 1/3 & 2 & 1 & 2 & 1/2 & 1/2 & 1 & 2 & 1/3 & 2 \\ 1/3 & 2 & 1 & 2 & 1/2 & 1 & 1/2 & 1 & 1/3 & 2 \\ 1 & 2 & 2 & 3 & 1 & 1 & 3 & 3 & 1 & 2 \\ 1 & 1/2 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1/2 & 1/2 & 1/2 & 1 \end{bmatrix}$	$w_2 = \begin{bmatrix} 0.14 \\ 0.09 \\ 0.08 \\ 0.04 \\ 0.13 \\ 0.12 \\ 0.09 \\ 0.08 \\ 0.16 \\ 0.07 \end{bmatrix}$
A ^[3] (Decisor 3). Criterios C ₁C ₁₀ respecto al objetivo	$A_3 = \begin{bmatrix} 1 & 1/2 & 2 & 5 & 1 & 1 & 3 & 3 & 1 & 1 \\ 2 & 1 & 2 & 3 & 1/2 & 1/3 & 1/2 & 1/2 & 1/2 & 2 \\ 1/2 & 1/2 & 1 & 2 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1/2 & 1 \\ 1/5 & 1/3 & 1/2 & 1 & 1/3 & 1/3 & 1/2 & 1/2 & 1/3 & 1 \\ 1 & 2 & 1 & 5 & 1 & 1 & 2 & 2 & 1 & 1 \\ 1 & 3 & 1 & 3 & 1 & 1 & 2 & 1 & 1/3 & 1 \\ 1/3 & 2 & 1 & 2 & 1/2 & 1/2 & 1 & 2 & 1/3 & 2 \\ 1/3 & 2 & 1 & 2 & 1/2 & 1 & 1/2 & 1 & 1/3 & 2 \\ 1 & 2 & 2 & 3 & 1 & 1 & 3 & 3 & 1 & 2 \\ 1 & 1/2 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1/2 & 1/2 & 1/2 & 1 \end{bmatrix}$	$w_3 = \begin{bmatrix} 0.14 \\ 0.09 \\ 0.08 \\ 0.04 \\ 0.13 \\ 0.11 \\ 0.09 \\ 0.08 \\ 0.18 \\ 0.07 \end{bmatrix}$
A ^[4] (Decisor 3). Criterios C ₁C ₁₀ respecto al objetivo	$A_4 = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 2 & 5 & 1 & 1 & 2 & 3 & 1 & 2 \\ 1 & 1 & 2 & 3 & 1/2 & 1/2 & 1/2 & 2 & 1/2 & 3 \\ 1/2 & 1/2 & 1 & 2 & 1 & 1/2 & 1 & 1 & 1/2 & 1 \\ 1/5 & 1/3 & 1/2 & 1 & 1/3 & 1/3 & 1/2 & 1/2 & 1/3 & 1 \\ 1 & 2 & 1 & 5 & 1 & 1 & 2 & 2 & 1 & 1 \\ 1 & 2 & 2 & 3 & 1 & 1 & 1 & 2 & 1 & 1 \\ 1/2 & 2 & 1 & 2 & 1/2 & 1 & 1 & 2 & 1/2 & 2 \\ 1/3 & 1/2 & 1 & 2 & 1/2 & 1/2 & 1 & 1/2 & 1 & 2 \\ 1 & 2 & 2 & 3 & 1 & 1 & 2 & 2 & 1 & 2 \\ 1/2 & 1/3 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1/2 & 1/2 & 1/2 & 1 \end{bmatrix}$	$w_4 = \begin{bmatrix} 0.15 \\ 0.10 \\ 0.08 \\ 0.04 \\ 0.13 \\ 0.13 \\ 0.10 \\ 0.07 \\ 0.15 \\ 0.06 \end{bmatrix}$
E Ergonomía respecto a Sub-criterios E ₁E ₅	$E = \begin{bmatrix} 1 & 3 & 1 & 1 & 1 \\ 1/3 & 1 & 1/2 & 1/2 & 1/3 \\ 1 & 2 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 2 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 3 & 1 & 1 & 1 \end{bmatrix}$	$w_e = \begin{bmatrix} 0.24 \\ 0.09 \\ 0.22 \\ 0.22 \\ 0.24 \end{bmatrix}$
S Seguridad respecto a Sub-criterios S ₁ , S ₂ , and S ₃	$S = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1/5 \\ 1 & 1 & 1/5 \\ 5 & 5 & 1 \end{bmatrix}$	$w_s = \begin{bmatrix} 0.14 \\ 0.14 \\ 0.71 \end{bmatrix}$
Ss Sostenibilidad respecto a Sub-criterios SS ₁SS ₄	$Ss = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 2 & 1/2 \\ 1 & 1 & 2 & 2 \\ 1/2 & 1/2 & 1 & 1 \\ 5/7 & 1/2 & 1 & 1 \end{bmatrix}$	$w_{ss} = \begin{bmatrix} 0.31 \\ 0.34 \\ 0.17 \\ 0.18 \end{bmatrix}$

Tabla 60. Matrices de juicios individuales y criterios de ergonomía, seguridad y sostenibilidad

La tabla 61 muestra los resultados para la matriz consolidada:

Matriz Consolidada	Matrices de Comparación por pares	Vector Global (RGMM)
C: Matriz Consolidada. Criterios C ₁C ₁₀ respecto al objetivo	$C = \begin{bmatrix} 1 & 5/7 & 2 & 4/3 & 3/4 & 1 & 1/3 & 2/5 & 5/6 & 1/5 \\ 1/2 & 1 & 1/2 & 2/5 & 4/9 & 3/8 & 4/9 & 5/7 & 1/2 & 2/5 \\ 1/2 & 5/7 & 1 & 2 & 5/6 & 2/3 & 1 & 1 & 1/2 & 1/5 \\ 1/5 & 3/8 & 1/2 & 1 & 1/5 & 1/3 & 4/9 & 1/2 & 1/3 & 1 \\ 1/3 & 2/5 & 1/5 & 5 & 1 & 1/5 & 2 & 2/5 & 1/3 & 1/3 \\ 1 & 2/5 & 1/4 & 3 & 5/6 & 1 & 1/6 & 1/2 & 3/4 & 1/3 \\ 4/7 & 2/5 & 1 & 2/5 & 1/2 & 1/2 & 1 & 1/2 & 3/8 & 2 \\ 3/8 & 1/2 & 1 & 2 & 4/9 & 5/7 & 5/7 & 1 & 3/8 & 2 \\ 1/5 & 2 & 2 & 3 & 3/4 & 1/3 & 2/5 & 2/5 & 1 & 2/5 \\ 5/6 & 4/9 & 5/6 & 1 & 3/4 & 3/4 & 1/2 & 1/2 & 4/9 & 1 \end{bmatrix}$	$w^f = \begin{bmatrix} 0.130 \\ 0.087 \\ 0.077 \\ 0.039 \\ 0.152 \\ 0.127 \\ 0.092 \\ 0.077 \\ 0.156 \\ 0.065 \end{bmatrix}$

Tabla 61. Matriz consolidada y vector de prioridad global

En la aplicación del método se ha evaluado tanto el nivel de consistencia, como el de consenso. Ambos resultados han sido satisfactorios. La tabla 62 muestra un grado de consistencia aceptable al aplicar el índice GCI.

Índice	A1	A2	A3	A4	C	E	S	Ss
n	10	10	10	10	10	5	4	3
CGI	0.19	0.25	0.26	0.14	0.14	0.02	0.00	0.02
GCCI	-	-	-	-	0.21	-	-	-

Tabla 62. Resultados análisis de consistencia aplicando el índice CGI y de consenso aplicando el índice GCCI.

Para evaluar el consenso se ha utilizado tanto el análisis de la priorización de alternativas respecto al vector de prioridad consolidado, como el estudio gráfico aportado por el diagrama de Bland–Altman, tal y como se ha definido en la metodología desarrollada (figura 31). Ninguno de los decisores altera el orden de prioridad dados por el vector de prioridad consolidado (tablas 63 a 66). Se ob-

servan diferencias en las medias inferiores al 2% para la distancia entre las componentes del vector de prioridad consolidado y las componentes del vector de prioridad de cada uno de los decisores, siendo su valor máximo inferior al 7%, y el mínimo inferior al 0,14%. En comparación con otros criterios, al aplicar el índice de consenso GCCI desarrollado por Dong et al., se ha obtenido también un resultado de consenso aceptable (ver tabla 62).

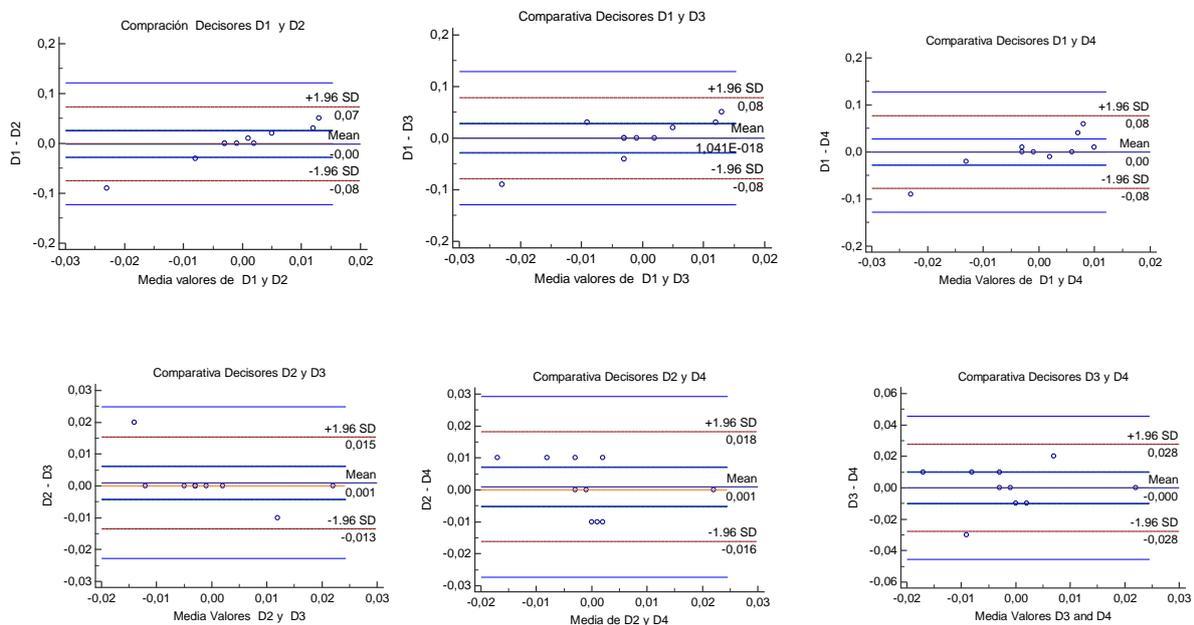


Figura 31. Diagrama Bland–Altman para la evaluación del consenso entre los decisores D1 a D4



Primer Decisor (D1)		Alternativas		
		A	B	C
Criterios				
Ergonomía	Postura	3,0	1,0	1,0
	Ruido y Vibraciones	3,0	3,0	3,0
	Accesibilidad	3,0	1,0	1,0
	Visión	2,0	1,0	1,0
	Manejo de Cargas	3,0	1,0	1,0
	Total (5 criterios)		2,8	1,6
Inversión		1,0	2,0	3,0
ROI		1,0	1,0	2,0
Mantenimiento		1,0	1,0	2,0
Sostenibilidad	Mejora Condiciones de Trabajo	3,0	1,0	1,0
	Eficiencia	3,0	1,0	2,0
	Emisiones	1,0	1,0	1,0
	Eficiencia Energética	1,0	1,0	2,0
	Total (4 criterios)		2,3	1,0
Diversidad		1,0	1,0	2,0
Productividad		3,0	1,0	1,0
Calidad		2,0	1,0	1,0
Seguridad	Daño por Calor	3,0	1,0	1,0
	Daño por Contacto Eléctrico	2,0	1,0	1,0
	Daño por Contacto Mecánico	3,0	2,0	1,0
Total (3 criterios)		2,9	1,7	1,0
Grado de Fidelización del Cliente		3,0	2,0	1,0
Valoración Final (Todos los Criterios) Decisor D1		2,0	1,2	1,4

Tabla 63. Priorización de alternativas. Decisor 1 (D1)

Segundo Decisor (D2)		Alternativas		
		A	B	C
Criterios				
Ergonomía	Postura	3,0	1,0	1,0
	Ruido y Vibraciones	3,0	3,0	3,0
	Accesibilidad	3,0	1,0	1,0
	Visión	2,0	1,0	1,0
	Manejo de Cargas	3,0	1,0	1,0
	Total (5 criterios)		2,6	1,6
Inversión		1,0	2,0	3,0
ROI		1,0	1,0	2,0
Mantenimiento		1,0	1,0	2,0
Sostenibilidad	Mejora Condiciones de Trabajo	3,0	1,0	1,0
	Eficiencia	3,0	1,0	2,0
	Emisiones	1,0	1,0	1,0
	Eficiencia Energética	1,0	1,0	2,0
	Total (4 criterios)		2,2	1,0
Diversidad		1,0	1,0	2,0
Productividad		3,0	1,0	1,0
Calidad		2,0	1,0	1,0
Seguridad	Daño por Calor	3,0	1,0	1,0
	Daño por Contacto Eléctrico	2,0	1,0	1,0
	Daño por Contacto Mecánico	3,0	2,0	1,0
Total (3 criterios)		2,7	1,6	1,1
Grado de Fidelización del Cliente		3,0	2,0	1,0
Valoración Final (Todos los Criterios) Decisor D2		1,9	1,3	1,5

Tabla 64. Priorización de alternativas. Decisor 2 (D2)



Tercer Decisor (D3)		Alternativas		
		A	B	C
Criterios				
Ergonomía	Postura	3,0	1,0	1,0
	Ruido y Vibraciones	3,0	3,0	3,0
	Accesibilidad	3,0	1,0	1,0
	Visión	2,0	1,0	1,0
	Manejo de Cargas	3,0	1,0	1,0
	Total (5 criterios)		2,6	1,4
Inversión		1,0	2,0	3,0
ROI		1,0	1,0	2,0
Mantenimiento		1,0	1,0	2,0
Sostenibilidad	Mejora Condiciones de Trabajo	3,0	1,0	1,0
	Eficiencia	3,0	1,0	2,0
	Emisiones	1,0	1,0	1,0
	Eficiencia Energética	1,0	1,0	2,0
	Total (4 criterios)		2,0	1,1
Diversidad		1,0	1,0	2,0
Productividad		3,0	1,0	1,0
Calidad		2,0	1,0	1,0
Seguridad	Daño por Calor	3,0	1,0	1,0
	Daño por Contacto Eléctrico	2,0	1,0	1,0
	Daño por Contacto Mecánico	3,0	2,0	1,0
Total (3 criterios)		2,8	1,7	1,2
Grado de Fidelización del Cliente		3,0	2,0	1,0
Valoración Final (Todos los Criterios) Decisor D3		2,1	1,1	1,3

Tabla 65. Priorización de alternativas. Decisor 3 (D3)

Cuarto Decisor (D4)		Alternativas		
		A	B	C
Criterios				
Ergonomía	Postura	3,0	1,0	1,0
	Ruido y Vibraciones	3,0	3,0	3,0
	Accesibilidad	3,0	1,0	1,0
	Visión	2,0	1,0	1,0
	Manejo de Cargas	3,0	1,0	1,0
	Total (5 criterios)		2,8	1,7
Inversión		1,0	2,0	3,0
ROI		1,0	1,0	2,0
Mantenimiento		1,0	1,0	2,0
Sostenibilidad	Mejora Condiciones de Trabajo	3,0	1,0	1,0
	Eficiencia	3,0	1,0	2,0
	Emisiones	1,0	1,0	1,0
	Eficiencia Energética	1,0	1,0	2,0
	Total (4 criterios)		2,3	1,0
Diversidad		1,0	1,0	2,0
Productividad		3,0	1,0	1,0
Calidad		2,0	1,0	1,0
Seguridad	Daño por Calor	3,0	1,0	1,0
	Daño por Contacto Eléctrico	2,0	1,0	1,0
	Daño por Contacto Mecánico	3,0	2,0	1,0
	Total (3 criterios)		2,9	1,8
Grado de Fidelización del Cliente		3,0	2,0	1,0
Valoración Final (Todos los Criterios) Decisor D4		2,2	1,2	1,6

Tabla 66. Priorización de alternativas. Decisor 4 (D4)

Una vez calculadas las prioridades normalizadas de las matrices de los subcriterios ergonomía, sostenibilidad y seguridad, así como la de la matriz consolidada, se adopta una agregación aditiva (ecuación 10), para obtener el ranking de alternativas:

$$P \equiv w_1^c \cdot \left(\sum_{j=1}^5 w_j^e \cdot I_{ij}^{e_i} \right) + w_2^c \cdot I_{i2}^{c_1} + w_3^c \cdot I_{i3}^{c_1} + w_4^c \cdot I_{i4}^{c_1} + w_5^c \cdot \left(\sum_{j=1}^4 w_j^s \cdot I_{ij}^{s_i} \right) + w_6^c \cdot I_{i5}^{c_1} + w_7^c \cdot I_{i7}^{c_1} + w_8^c \cdot I_{i8}^{c_1} + w_9^c \cdot \left(\sum_{j=1}^3 w_j^{ss} \cdot I_{ij}^{ss_i} \right) + w_{10}^c \cdot I_{i10}^{c_1} \quad (10)$$



$i=1$ para la alternativa A, $i=2$ para la alternativa B, e $i=3$ para la C. De este modo se priorizan las alternativas de mayor a menor puntuación. En nuestro caso, menor puntuación es mejor y los resultados fueron: Alternativa A 2.2; alternativa B 1.3; y alternativa C 1.5. Se elige la Alternativa B (opción con menor puntuación). Esta alternativa se ha implementado en el puesto de trabajo siendo los resultados, por el momento, positivos (etapa 5 de la metodología).

Finalizado el trabajo, se recogió la opinión de la empresa y de los propios alumnos. Para la empresa la aplicación de la metodología permitió un mayor seguimiento de las actividades del alumno, con una mínima interferencia entre alumno-profesional en sus tareas diarias. Desde el punto de vista de plazos y calidad del trabajo presentado los resultados, según su valoración, fueron buenos.

En opinión de los alumnos, su percepción se resume en:

- Mayor facilidad para resolver los problemas planteados
- Mayor integración en el entorno de trabajo
- Mayor satisfacción y efectividad en la transmisión de resultados y la comunicación con el equipo de trabajo
- Aumento de la capacidad personal en la resolución de problemas
- Disminución de la incertidumbre y aislamiento en la realización del trabajo fin de grado.

4.4.- Discusión de Resultados

La realización de proyectos se hace cada vez más compleja, a medida que aumentan las demandas de la sociedad. Esta situación no se transfiere al ámbito universitario, se puede comprobar que no existe una verdadera mentalidad de las necesidades de formación en las competencias relacionadas con la realización de proyectos. Esto exige por parte del docente un importante esfuerzo. No se debe olvidar que muchas de las titulaciones en ingeniería son profesionalizantes, tienen una serie de atribuciones otorgadas por ley que los titulados pueden desarrollar. Una de las atribuciones es la de poder realizar proyectos, debido a esta circunstancia, los docentes entienden que el alumno debe de adquirir la competencia de poder proyectar con los métodos actuales.

A medida que avanzan los planes de estudio, dentro de la materia relativa a los proyectos de ingeniería, impartida en las Escuelas de Ingeniería, la asignación de créditos a las asignaturas de proyectos, disminuyen en cada nuevo plan. Esto va en contra de las exigencias por parte de las normativas y nuevas tendencias en el mundo del proyecto.

Cada vez se exige que el proyecto esté más definido en la fase de redacción, para que la fase de ejecución sea más rápida y como consecuencia más económica, a la vez que más segura.

En la actualidad no se comprende la redacción de un proyecto sin un documento relativo al Estudio de Seguridad, en el que se reflejan las medidas de seguridad que se deben llevar a cabo en el proceso de ejecución de un Proyecto. El proyecto que elaboran los estudiantes durante el curso, integra un documento relativo al Estudio de Seguridad durante el proceso de ejecución. Dentro del proceso metodológico comentado, corresponde esta tarea al planteamiento de un nuevo problema a resolver, dentro del planteamiento global del proyecto.

Se considera también muy importante la perspectiva a la hora del diseño, del ciclo de vida del proyecto, para el cumplimiento del objetivo fundamental del diseño y ejecución de proyectos, puesto que el ciclo de vida no es una tarea sólo a considerar durante la explotación de los proyectos, sino que si se tiene en cuenta desde que el proyecto es sólo una idea, incide en un mejor diseño y ejecución, por todos los aspectos que engloba y en los que incide.

La realización de un proyecto por parte de los estudiantes que cumpla con las características comentadas, exige separarse de la típica clase magistral y adoptar otra metodología que fomente la participación activa de los estudiantes



y consiga de estos un aprendizaje rápido y duradero (Smith, B. L. y Mac Gregor, J. T., 1992) (Gubera, C. y Aruguete, M. S., 2013) (Davidson, N.; Major, C. H. y Michaelsen, L. K., 2014).

La metodología planteada, durante los más de 5 años de su aplicación en las asignaturas de proyectos correspondientes a las distintas especialidades de la ingeniería, como son: Tecnologías Industriales, Mecánica, Electricidad, Electrónica y Automática, Química, Organización Industrial y Diseño Industrial y Desarrollo del Producto, debía de someterse a una evaluación, para poder contrastar sus resultados con referencia a la clase magistral. Después del análisis y estudio de los datos obtenidos de los cursos en los que se ha implantado, y de las encuestas realizadas a los alumnos, se puede afirmar que el uso de la metodología colaborativa planteada puede utilizarse como alternativa y complemento a la clase magistral.

El resultado de la evaluación ha sido muy satisfactorio. Los resultados obtenidos son similares a los descritos en la aplicación de metodologías colaborativas en distintos campos de la ingeniería, tal y como se ha reflejado en el apartado 2 de esta tesis. La evaluación del sistema aporta datos que animan a seguir trabajando sobre él y tratar de adaptarlo a las nuevas necesidades que se plantean en el entorno del proyecto.

Se ha realizado otra experiencia con la metodología colaborativa planteada, en una asignatura de grado en la que el estudiante tiene adquiridas casi todas sus competencias. El caso de estudio se ha planteado empleando BIM como herramienta tecnológica. La nueva incorporación del modelado BIM, utilizando la metodología colaborativa, plantea retos aún mayores.

La introducción de BIM dentro de la asignatura de proyectos técnicos mecánicos se debe a la importancia de estar al día en las nuevas técnicas de proyectar, con estrategias de modelado emergentes. Este es el caso del modelado BIM, que está suponiendo una revolución mundial en el entorno del proyecto. Un elevado número de técnicos y profesionales españoles no quieren perder este tren, y solicitan de la administración pública la colaboración en este campo (Ministerio de Fomento. Nota de prensa. 2015). Los docentes son conscientes de la situación de crisis que se está atravesando, que obliga a un número importante de nuestros titulados a ejercer fuera de nuestras fronteras su profesión. Incluir metodologías BIM facilitará, a nivel internacional, el desempeño profesional de los egresados.

Una vez concluida la experiencia, se realizó una evaluación, con el objetivo de valorarla. Se realizó una encuesta entre los estudiantes participantes, que se analizó posteriormente. El resultado señaló que el uso de la herramienta BIM

tiene una influencia positiva sobre los resultados del aprendizaje. La influencia de las herramientas en el trabajo colaborativo también ha sido puesta de manifiesto por distintos investigadores, obteniéndose en el trabajo de esta tesis los mismos resultados.

La experiencia ha sido positiva, los estudiantes se incorporaron con entusiasmo a esta nueva manera de proyectar. Las dificultades han sido importantes, sobre todo en los programas de instalaciones y en su cálculo, así como en el intercambio de información entre los programas utilizados.

Se observa que el desarrollo de programas en el entorno BIM se está realizando a gran velocidad. Muchas empresas están mentalizadas de la importancia de ofertar la información de sus productos en BIM. También se avanza mucho en el entendimiento de los datos aportados por los diferentes programas.

El resultado de estas experiencias es esperanzador. Se está consiguiendo que a nivel de formación en proyectos no exista desvinculación con las tendencias actuales a nivel mundial.

Existe en España un fuerte interés por parte de los profesionales del mundo del proyecto en este tipo de formación y existe el convencimiento de que en un periodo corto de tiempo solo oiremos hablar de BIM a la hora de elaborar proyectos de un determinado nivel.

Como resultado sobre el aporte del trabajo realizado, cabría destacar, en primer lugar, la fuerte convicción adquirida de la necesidad de implantar BIM en la formación universitaria de los ingenieros en España. La comunidad educativa es la que debería ir por delante situándose a la vanguardia respecto a las nuevas metodologías, dando a conocer y adaptándose a las nuevas tecnologías para formar a los estudiantes con herramientas que les serán requeridas en el mundo profesional como es el caso de BIM.

Sería interesante en el futuro la creación de un banco de familias/objetos, de materiales, elementos y maquinaria para uso en futuros proyectos de los alumnos vinculados al ámbito industrial, ya que se detecta que hay problemas en esta esfera.

Se detectan problemas en cuanto a las instalaciones MEP y el intercambio de información entre distinto software BIM, por lo que el cálculo y la disposición de las infraestructuras, una vez calculadas, se ve seriamente comprometido, por lo que se debería abrir una nueva línea de investigación en este sentido, testándose distinto software que permita eludir las dificultades.



Los estudiantes que han participado en esta experiencia tienen una buena base para continuar en su inmersión en BIM y poder convertirse en formador de formadores como salida profesional e incluso están capacitados para el ingreso en una consultora BIM dedicada a proyectos de ingeniería. La actual movilidad de los estudiantes en el entorno internacional complementa la formación dentro del Espacio de Educación Superior (EES). Gracias a BIM aumenta su empleabilidad y sus competencias se ven implementadas y completadas, estando preparados para hacer frente a situaciones nuevas en distintos contextos dentro del campo de la ingeniería.

De la misma manera el estudiante tiene una base para poder participar en proyectos multipuesto y que se encuentre en ámbito de equipos multidisciplinares internacionales o nacionales, siendo un nuevo nicho de mercado para su salida profesional o incluso en el futuro desarrollo de BIM+MEP+FM (Facility Management).

Una vez comprobada la eficiencia del uso de metodologías colaborativas en la realización de proyectos, y su aceptación por parte de los estudiantes, se planteaba el problema de la realización de los antiguos proyectos fin de carrera y los actuales trabajos fin de grado. En este caso los estudiantes se encuentran solos ante los problemas que se les plantean y resultaría interesante integrarles en grupos de trabajo (Meulen, E., 2011).

La experiencia se ha realizado dentro de una pequeña empresa, en el departamento de proyectos, en el que los estudiantes participan en la realización de proyectos.

Existe un cierto paralelismo en la utilización de la metodología colaborativa en el campo académico y en el profesional, las diferencias más notables se observan principalmente en la base del conocimiento, ya que en el sector profesional se parte de un mayor conocimiento sobre el problema planteado. También en el sector profesional existe una mayor dedicación y experiencia a la hora de afrontar los problemas y a la realización de trabajos en grupo.

Respecto a la aplicación de la metodología colaborativa en el entorno industrial, al tratarse de un grupo pequeño y con formación en el sector técnico, resultaba más sencillo que en el entorno académico, aunque el alcance y complejidad del problema planteado fueron mayores. Los medios disponibles, al tratarse de una pequeña empresa, suelen representar una dificultad añadida a la hora de afrontar el problema planteado.

El funcionamiento del sistema planteado fue efectivo y rápido. Como resultado al problema planteado al equipo de trabajo, se aportaron diferentes soluciones,



lo que provocó el establecimiento de una herramienta de validación de la propuesta más adecuada, que una vez elegida se implantó con resultados satisfactorios.

La ventaja de la implantación en el plano académico se debe al entusiasmo de los estudiantes a la hora de abordar este nuevo sistema de aprendizaje. Normalmente en el sector profesional existen más reticencias a los cambios en las formas de trabajo.

El trabajo en equipo de los estudiantes ha constatado la necesidad de concienciación del trabajo en equipo, desarrollar habilidades de coordinación, liderazgo, habilidades de dirección y negociación, de motivación y comunicación. Todas estas habilidades están muy demandadas por el mercado laboral en la actualidad.



Conclusiones y Líneas Futuras

5.- Conclusiones y Líneas Futuras

5.1.- Conclusiones

La formación académica en proyectos, está afectada por la constante evolución en el mundo del proyecto. La evolución en la realización de proyectos en los últimos años ha sido constante, a la vez que el tiempo utilizado para su formación académica y el utilizado por las empresas para su realización ha disminuido.

Las exigencias de la sociedad aumentan a la hora de la realización de los proyectos. Se exige más definición en la resolución de los problemas planteados, más documentos en la redacción de los proyectos, mayor integración en el medio ambiente, etc.

La experiencia en proyectos técnicos, tanto en su realización como en la formación de los futuros profesionales, hace plantearse soluciones que integren las nuevas necesidades con los medios que se disponen. A nivel de formación en proyectos técnicos, se tiene muy claro que no se pueden disminuir los contenidos de formación, sino que hay que ampliarlos.

Como conclusiones, se puede afirmar que:

- Se han analizado distintas experiencias en la aplicación de metodologías colaborativas, identificando los principales problemas existentes en su aplicación dentro del ámbito de interés del trabajo planteado, siguiendo los objetivos marcados para esta tesis doctoral.
- Se ha implantado una metodología colaborativa basada en un sistema de aprendizaje activo, aplicable a la docencia de proyectos técnicos.
- El modelo metodológico colaborativo utilizado, integra un sistema de aprendizaje que permite, junto con el planteamiento sistemático de la toma de decisiones en grupo, un proceso para la evaluación del consenso dentro del equipo de trabajo ayudado con un método gráfico.



- Se ha comprobado que, de acuerdo con distintos estudios científicos realizados en otros campos, el tamaño de grupo tiene una influencia estadísticamente significativa en la satisfacción del alumno y el éxito en la utilización de una metodología colaborativa para la docencia de proyectos técnicos.
- En relación a la clase magistral, la metodología colaborativa implementada ha mostrado mejores resultados.
- La aplicación de la metodología colaborativa propuesta ha mostrado su valía en las aplicaciones de desarrollo planteadas, obteniendo buenos resultados. Su implementación en los nuevos planes de estudios de los Grados de Ingeniería se ha conseguido exitosamente, aun realizándose en casi todos los casos en etapas muy tempranas de la formación del grado (2º curso), completando los planes de formación actuales.
- El planteamiento y uso de una metodología colaborativa en materias proyectuales, debe permitir conseguir los objetivos marcados en cuanto a conocimientos y competencias a adquirir, independientemente de las herramientas o software utilizados. La bibliografía científica pone de manifiesto que las herramientas y software utilizados pueden tener influencia en los resultados logrados al aplicar metodologías colaborativas. El análisis efectuado en el trabajo de esta tesis, ha permitido evaluar la influencia que puede tener un enfoque y uso de herramientas y software, mediante la incorporación en un escenario de herramientas de uso tradicional en la realización de proyectos técnicos, y en otro escenario del uso de BIM. En ambos casos se han obtenido buenos resultados. El uso de la metodología colaborativa planteada permite implementar nuevas técnicas y exigencias para la realización de proyectos, completando los planes de formación actuales.

Como aportaciones originales, ligadas a la consecución de los objetivos que se han planteado, se resumen en:

- Se ha realizado un estudio y análisis de la evolución de las materias proyectuales en los distintos planes de estudio de Ingeniería Industrial en sus diferentes facetas, desde su creación hasta nuestros días, a través de un trabajo de investigación en las distintas publicaciones gubernativas (Gacetas y Boletines).

- Se ha implementado y evaluado un sistema de aprendizaje colaborativo para su aplicación en materias proyectuales en la Escuela de Ingenierías Industriales de la Universidad de Valladolid. Dicho sistema se ha obtenido teniendo en cuenta las distintas experiencias de metodologías colaborativas consultadas en la bibliografía científica.
- Se ha implementado un proceso analítico jerárquico (AHP) como herramienta de decisión, planteando un nuevo modelo de consenso.
- Se ha aplicado y evaluado la metodología planteada en un entorno educativo, mostrando resultados positivos. Estos resultados, se han podido evaluar con el uso, por parte de los alumnos, de herramientas y software habitual en el desarrollo de proyectos técnicos, y nuevas herramientas y enfoques que la actual evolución en la realización de proyectos técnicos está demandando, como es el caso del BIM. La implementación de BIM se ha realizado por primera vez en la Escuela de Ingenierías Industriales de la Universidad de Valladolid, dentro de una asignatura de proyectos en un plan de estudios de grado.
- Se ha obtenido un caso de éxito, aplicando en un entorno industrial la metodología planteada.
- Se ha diseñado un modelo de evaluación para medir la bondad del sistema propuesto en un entorno académico.

5.2.- Líneas Futuras

El trabajo planteado en esta tesis deja abierta las siguientes líneas de trabajo:

- Adaptación de la metodología de aprendizaje activa y colaborativa utilizada (SAAC) en asignaturas correspondientes a áreas de conocimiento distintas al área de proyectos de ingeniería.
- Integración dentro del SAAC de metodologías de gestión del tiempo y gestión de tareas dentro de los equipos de trabajo. En este aspecto sería interesante integrar metodologías KANBAN o SCRUM. Estas metodologías,



extendidas en proyectos de desarrollo de software, pueden ser adaptadas dentro del marco planteado en el proyecto.

- Integración y evaluación de los entornos de modelado 3D BIM como herramienta básica de trabajo dentro del SAAC, con especial interés en la seguridad, salud e impacto medioambiental del proyecto, para asignaturas con un grupo numeroso de alumnos.
- Análisis y evaluación de la colaboración entre docentes, dentro de la aplicación de metodologías colaborativas para la docencia de proyectos técnicos.
- Estudio de la evaluación subjetiva del estudiante en lo referente a su evaluación en materia de proyectos técnicos.
- En lo referente a la toma de decisiones en grupo, el proceso de mejora para el consenso dentro del equipo de trabajo, ayudado con un método gráfico, ha sido planteado con la participación del propio decisor. Se plantea generar un algoritmo para mejorar el consenso sin necesidad de su intervención. Se propone también evaluar en distintos entornos el comportamiento del proceso de evaluación del consenso propuesto, así como su comparación en relación con otros métodos de consenso (por ejemplo con el generado por Dong y Saaty. (Dong Q. y Saaty T.L., 2014)

5.3.- Producción Científica

En torno a esta tesis se han generado las siguientes publicaciones científicas:

- M. Blanco Caballero; Alberto Sánchez Lite; Manuel García García. Sistemas de aprendizaje para proyectos de ingeniería. *19th International Congress on Project Management and Engineering*, 2015, pp. 2351-2362
- M. Blanco Caballero; Patricia Zulueta Pérez; Ignacio Alonso Fernández-Coppel; Alberto Sánchez Lite. Implantación del BIM en la asignatura Proyectos Técnicos Industriales - Grado en Ingeniería en Tecnologías Industriales - Universidad de Valladolid. *19th International Congress on Project Management and Engineering*. Ponencia, 2015.
- M. Blanco, M San Martín, E. Parra, A. Sánchez, J. A. Serrano, M. I. Jiménez, M. García e I. Alonso. «Gestión de Calificaciones en el espacio de Educación Europeo Superior» *XXI Congreso Universitario de Innovación Educativa en las Enseñanzas Técnicas*, Ponencia, 2013.
- M. Blanco, E. Parra. J. A. Serrano, M San Martín, A. Sánchez, I. Alonso, M I Jiménez, J J Sanabria, J A Urraca, Entorno Virtual (basado en TIC) y Docencia en Inglés de la Asignatura “Proyectos” en Ingeniería Industrial. *V Jornada Innovación Docente de la UVA “Innovar para Crecer, Crecer para Innovar”*, Comunicación, 2013.
- A. Sánchez, M. García, M. Blanco, M. Herraéz, M. San Martín «Hydraulic Industrial Filter Product-Process development Applying Knowledge Based Engineering» *Proceedings of the 5th Manufacturing Engineering Society International Conference*, Zaragoza, June 2013.
- M. I. Jiménez, M. Blanco, A. Sánchez. BIM model applied to Projects teaching in Engineering. Congreso: International Congress on Education, Innovation and Learning Technologies. Barcelona-Julio2014.
- M. I. Jiménez, M. Blanco, A. Sánchez. Decreasing Waste in BIM-based Industrial Projects Design and Execution. Congreso: International Congress on Water, Waste and Energy Management. Oporto (Portugal), Julio 2014



- M. I. Jiménez, M. Blanco, A. Sánchez, M San Martín, E. Parra, J. A. Serrano, «Methodology for projects subject in Engineering based on real cases» *8th International Technology, Education and Development Conference*, pp. 2866-2873, 2014.
- M San Martín, M. Blanco, M. I. Jiménez, E. Parra , A. Sánchez, J. A. Serrano, M. García, «Plataforma educativa Online para Ingeniería» *XXI Congreso Universitario de Innovación Educativa en las Enseñanzas Técnicas*, Ponencia, 2013.

Como consecuencia del trabajo desarrollado en esta tesis, y con objeto de su publicación, se están elaborando (en proceso de redacción) los siguientes artículos:

- Active Collaborative Learning System (ACLS) for Technical Projects: A Evaluation into a School of Engineering
- Implementation of a Collaborative Learning Approach to Assess Different Alternatives of Workplace Design Throughout the Development of a Manufacturing Process.



Bibliografía

6.- Bibliografía

- Ahn, Y. H.; Cho, C-S., and Lee, N. (2013). Building Information Modeling: Systematic Course Development for Undergraduate Construction Students. *Journal of Professional Issues in Engineering Education and Practice*, vol. 139, n. 4, pp. 290-300.
- Aibinu, A. and Venkatesh, S. (2014). Status of BIM Adoption and the BIM Experience of Cost Consultants in Australia. *Journal of Professional Issues in Engineering Education and Practice*, vol. 140, n. 3.
- Alfonso Cendón, J.; Castejón Limas, M. and Fernández, L. (2013). Prototype Development As Tools for Collaborative Learning in Project Engineering in the Context of the Eshe Framework (17th International Congress on Project Management and Engineering Logroño, 17-19th July 2013)
- Alfonso, J.; Castejón, M.; Pernía, A. and Sanz, A. (2011). Las Redes Sociales como Herramientas para el Aprendizaje Colaborativo en Proyectos de Ingeniería en el Espacio Europeo de Educación Superior. *XV Congreso Internacional de Ingeniería de Proyectos Huesca*. ISBN: 978-84-615-4543-8.
- Alonso Secades, V.; Arranz García, O. and Pedrero Esteban, A. (2013). Uso Docente de los Dispositivos Móviles en la Ingeniería Informática. *XXI Congreso Universitario de Innovación Educativa en las Enseñanzas Técnicas. Valencia*. ISBN: 978-84-608-1217-3.
- Alonso, JA. and Lamata, MT. (2006). Consistency in the analytic hierarchy process: a new approach. *Int J Uncertainty, Fuzziness Knowledge-Based Syst*, vol. 14, pp. 445-459.
- Álvarez Álvarez, S.; Cuéllar Lázaro, C.; López Arroyo, B.; Adrada Rafael, C.; Anguiano Pérez, R.; Bueno García, A.; Comas Martínez, I. and Gómez Martínez, S. (2011). Actitudes de los profesores ante la integración de las TIC en la práctica docente - Estudio de un grupo de la Universidad de Valladolid. *EDUTEC-E - Revista Electrónica de Tecnología Educativa*, vol. 35. ISSN-e 1135-9250.
- Alves Durães, D. (2012). Análises das Plataformas Informáticas como Instrumento de Aprendizagem Colaborativa dos Estudantes do Ensino Secundário no Concelho de Guimarães em Portugal. *Tesis doctoral. Departamento Didáctica y organización escolar. Universidad de Granada*).



- Arranz García, O. and Alonso Secades, V. (2013). Estrategias Docentes a Considerar en las Enseñanzas Técnicas en el Uso de las Herramientas Tecnológicas. *XXI Congreso Universitario de Innovación Educativa en las Enseñanzas Técnicas. Valencia*. ISBN: 978-84-608-1217-3.
- Aull-Hyde, R.; Erdogan, S. and Duke, J. M. (2006). An experiment on the consistency of aggregated comparison matrices in AHP. *European Journal of Operational Research*, vol. 171(1), pp. 290–295, doi:10.1016/j.ejor.2004.06.037.
- Bamberger, Y. M. and Cahill, C. S. (2013). Teaching Design in Middle-School: Instructors' Concerns and Scaffolding Strategies. *J Sci Educ Technol*, vol. 22, pp.171–185.
- Bansal, V.K. (2011). Application of geographic information systems in construction safety planning. *International Journal of Project Management*, vol.29, pp. 66–77.
- Banuelas, R. and Antony, J. (2004). "Modified analytic hierarchy process to incorporate uncertainty and managerial aspects". *International Journal of Production Research*, vol. 42, n. 18, pp. 3851– 3872.
- Barkley, E. F.; Cross, K. P. and Major, C. H. (2007). Técnicas de Aprendizaje Colaborativo. *Secretaría General Técnica del MEC - Ediciones Morata, S. L.* ISBN: 978-84-7112-522-4. NIPO: 651-07-314-6.
- Becerik-Gerber, B.; Ku, K. and Jazizadeh, F. (2012). BIM-Enabled Virtual and Collaborative Construction Engineering and Management. *Journal of Professional Issues in Engineering Education and Practice*, vol. 138, n. 3, pp. 234-245.
- Beckman, M. (1990). "Collaborative Learning: Preparation for the Workplace and Democracy". *College Teaching*, vol.38, no. 4, pp. 128-133. ISSN:ISSN-8756-7555.
- Beggrow, E. P.; Ha, M.; Nehm, R. H.; Pearl, D. and Boone, W. J. (2014). Assessing Scientific Practices Using Machine-Learning Methods: How Closely Do They Match Clinical Interview Performance?. *J Sci Educ Technol*, vol. 23, pp.160–182.
- Blanc, S.; Yuste, P. and Sánchez, A. (2013). Planificación del Trabajo Fuera del Aula Presencial Mediante Objetos de Aprendizaje. *XXI Congreso Universitario de Innovación Educativa en las Enseñanzas Técnicas. Valencia*. ISBN: 978-84-608-1217-3



- Bland, JM and Altman, DG. (1999). Measuring agreement in method comparison studies. *Statistical Methods in Medical Research*, vol. 8, pp.135-160.
- Blasco, J.; Estay-Niculcar; C. A. and Cistero, J. (2002). Docencia de Proyectos con un Enfoque Cooperativo y Un Entorno Colaborativo Presencial y Virtual: Resultados de Nuestra Experiencia y Sugerencias Futuras. VI Congreso Internacional de Ingeniería de Proyectos. Barcelona. ISBN: 84-600-9800-1.
- Bose, S. (2010). Learning Collaboratively With Web 2.0 Technologies: Putting Into Action Social Constructivism. *National Seminar on "Technology enhanced collaboration for improving quality of education at elementary level"*.
- Boujut, J. F. and Laureillard, P. (2002). A co-operation framework for product-process integration in engineering design. *Design Studies*, vol. 23, no. 5, pp. 497-513.
- Buenestado, P. and Rodríguez Pérez, A. C. (2013). Implantación de Bolonia con Recursos Humanos ya Existentes en Las Universidades. *XXI Congreso Universitario de Innovación Educativa en las Enseñanzas Técnicas. Valencia*. ISBN: 978-84-608-1217-3.
- Butler, A. C.; Marsh, E. J.; Slavinsky, J. P. and Baraniuk, R. G. (2014). Integrating Cognitive Science and Technology Improves Learning in a STEM Classroom. *Educational Psychology Review*, vol 26, pp. 331-340.
- Canaleta, X.; Vernet, D.; Vicent, L. and Montero, J. A. (2014). Master in Teacher Training: A real implementation of Active Learning. *Computers in Human Behavior*, vol. 31, pp. 651–658.
- Carlucci, D. and Schiuma, G. (2009). "Applying the analytic network process to disclose knowledge assets value creation dynamics," *Expert Systems with Applications*, vol. 36, n. 4, pp. 7687–7694.
- Carrasco García, Á.; Mata Cabrera, F.; Almansa Rodríguez, E. and Fuentes Ferrera, D. (2013). Docencia Multidisciplinar y Coordinada Entre Las Áreas de Expresión Gráfica, Ingeniería Mecánica y Filología Moderna de la Escuela de Ingeniería Minera e Industrial de Almadén. *XXI Congreso Universitario de Innovación Educativa en las Enseñanzas Técnicas. Valencia*. ISBN: 978-84-608-1217-3.



- Casillas Santillán, L. A. (2010). Gestión del Conocimiento Subyacente en Interacciones Colaborativas de Entornos de Aprendizaje Virtual con Trabajo en Grupos: Un Enfoque Multiagente. *Tesis Doctoral. Departamento Doctorado en Sociedad de la Información y el Conocimiento. Universidad Oberta de Catalunya.*
- Chang, Y-S. (2013). Student technological creativity using online problem-solving activities. *Int J Technol Des Educ*, vol. 23, pp.803–816.
- Chickering, A.W. and Gamson, Z.F. (1991), "Applying the Seven Principles for Good Practice in Undergraduate Education". *New Directions for Teaching and Learning*, no. 47. San Francisco: Jossey-Bass Inc. ISBN-10: 1555427812. ISBN-13: 978-1555427818.
- Chong, H-Y.; Son Wong, J. and Wang, X. (2014). An explanatory case study on cloud computing applications in the built environment. *Automation in Construction*, vol.44, pp. 152–162.
- Collier, K.G. (1980). "Peer-Group Learning in Higher Education: The Development of Higher-Order Skills". *Studies in Higher Education*, vol. 5, no. 1, pp. 55-62.
- Congreso Internacional BIM de Valladolid. DEL BIM AL BIG DATA. (Noviembre 2014). <http://www.bimvalladolid.com/page6/index.html> (26/04/2015)
- Consejo de Coordinación Universitaria (2006). Propuestas para la Renovación de las Metodologías Educativas en La Universidad. Secretaria General Técnica. *Subdirección General de Información y publicaciones*. Edigrafos, S.A. NIPO: 651-06-300-8. Depósito Legal: M. 36.490-2006.
- Crawford, G. and Williams, C. (1985). A note on the analysis of subjective judgment matrices. *Journal of Mathematical Psychology*, vol. 29, n.4, pp. 387–405, doi:10.1016/0022-2496(85)90002-1.
- Curran, E.; Carlson, K. and Turvold Celotta, D. (2013). Changing attitudes and facilitating understanding in the undergraduate statistics classroom: A collaborative learning approach. *Journal of the Scholarship of Teaching and Learning*, Vol. 13, No. 2, pp. 49 – 71.
- Damon, W and Phelps, E. (1989). Critical Distinctions Among Three Approaches to Peer Education. *International Journal of Educational Research*, vol.13, p.9.

- Datos Básicos del Sistema Universitario Español curso 2013-2014 (2013). *Secretaría General Técnica. Subdirección General de Documentación y Publicaciones*. NIPO: 030-13-129-7.
- Davidson, N.; Major, C. H. and Michaelson, L. K. (2014). Small-Group Learning in Higher Education— Cooperative, Collaborative, Problem-Based, and Team-Based Learning: An Introduction by the Guest Editors. *Journal on Excellence in College Teaching*, vol.25, no. 3&4, pp.1-6.
- De Jong, P. (1984) “A statistical approach to Saaty’s scaling methods for priorities,” *Journal of Mathematical Psychology*, vol. 28, pp. 467-478.
- Decker, B.; Rech, J. and Althoff, K. D. (2005). eParticipative Process Learning— Process-oriented Experience Management and Conflict Solving. *Data & Knowledge Engineering*, vol. 52, no. 1, pp. 5-31. DOI: 10.1016/j.datak.2004.06.006.
- Dekker, R., Elshout-Mohr, M., and Wood, T. (2006). How children regulate their own collaborative learning. *Educational Studies in Mathematics*, vol. 62, no.1, pp. 57–79.
- Ditcher, A.K. (2001). Effective Teaching and Learning in Higher Education, with Particular Reference to the Undergraduate Education of Professional Engineers. *International Journal of Engineering Education*, vol.17, no. 1, pp. 24-29.
- Doctor Yuste, M. (2014). Contribución a la aplicación de metodologías colaborativas y nuevas tecnologías para la formación continua de adultos profesionales. *Tesis Doctoral. Departamento Informática, Automática y Comunicaciones. Universidad Europea de Madrid*.
- Dong, B.; O'Neill, Z. and Li, Z. (2014). A BIM-enabled information infrastructure for building energy Fault Detection and Diagnostics. *Automation in Construction*, vol.44, pp. 197–211.
- Dong, Q and Saaty, TL. (2014). An analytic hierarchy process model of group consensus Group decision making Analytic Hierarchy Process (AHP) consensus judgment updating. *Journal of Systems Science and Systems Engineering*, vol 23, n. 3, pp. 362-374.
- Dong, Y.; Zhang, G.; Hong, W.C. and Xu, Y. (2010). Consensus models for AHP group decision making under row geometric mean prioritization method. *Decision Support Systems*, vol. 49, n. 3, pp. 281–289, doi:10.1016/j.dss.2010.03.003.



- Duff, P. A. (2002). The discursive co-construction of knowledge, identity, and difference: An ethnography of communication in high school mainstream. *Applied Linguistics*, vol. 23, no. 3, pp. 289–322.
- Escobar M. T. and Moreno-Jiménez J. M. (2006). Aggregation of Individual Preference Structures in Ahp-Group Decision Making. *Group Decision and Negotiation*, vol.16, n.4, pp. 287–301, doi:10.1007/s10726-006-9050-x.
- Escobar, M. T.; Aguarón, J. and Moreno-Jiménez J. M. (2004). A note on AHP group consistency for the row geometric mean prioritization procedure. *European Journal of Operational Research*, vol.153, n. 2, pp. 318–322, doi:10.1016/S0377-2217(03)00154-1.
- Esjeholm, B-T. and Bungum, B. (2013). Design knowledge and teacher–student interactions in an inventive construction task. *Int J Technol Des Educ*, vol 23, pp. 675–689.
- España. Concluye el Plan de las Escuelas industriales inserto en el Real Decreto publicado en la Gaceta de ayer. *Gaceta de Madrid*, 23 mayo de 1855, núm. 872, (1 pág.).
- España. Decreto de 28 de mayo de 1948 sobre reforma de estudios de la carrera de Ingeniero Industrial. *Boletín Oficial del Estado*, 12 junio de 1948, núm. 164, p. 2444 a 2445.
- España. Decreto por el que se reorganizan las Escuelas de Peritos Industriales. *Boletín Oficial del Estado*, 07 agosto de 1942, núm. 219, p. 5854 a 5857.
- España. Ley 2/1964, de 29 de abril, sobre reordenación de las Enseñanzas Técnicas. «BOE», 1 mayo de 1964, núm. 105, p. 5581 a 5583 (3 págs.).
- España. Ley de 20 de julio de 1957 sobre ordenación de las enseñanzas técnicas. *Boletín Oficial del Estado*, 22 julio de 1957, núm. 187, p. 607 a 614.
- España. Ley de Instrucción pública autorizada por el Gobierno para que rija desde su publicación en la Península e Islas adyacentes, lo que se cita. *Gaceta de Madrid*, 10 septiembre de 1857, núm. 1710, p. 1 a 3.
- España. Orden CIN/351/2009, de 9 de febrero, por la que se establecen los requisitos para la verificación de los títulos universitarios oficiales que habiliten para el ejercicio de la profesión de Ingeniero Técnico Industrial. «BOE», 20 febrero de 2009, núm. 44, p. 18145 a 18149 (5 págs.).

- España. Orden de 16 de septiembre de 1976 por la que se integran en seis cursos los Planes de estudios vigentes en las Escuelas Técnicas Superiores de Arquitectura e Ingenieros de la Universidad Politécnica de Madrid. «BOE», 30 de octubre de 1976, núm. 261, p. 21490 a 21501 (12 págs.)
- España. Orden de 20 de agosto de 1964 por la que se establecen las enseñanzas de los dos primeros cursos de las Escuelas Técnicas de Grado Superior, de acuerdo con la Ley de 29 de abril de 1964. «BOE», 22 agosto de 1964, núm. 202, p. 11082 a 11083 (2 págs.).
- España. Orden de 29 de mayo de 1965 por la que se establecen las enseñanzas de los cursos tercero, cuarto y quinto de Escuelas Técnicas Superiores, de acuerdo con la Ley 2/1964, de 29 de abril. «BOE», 3 junio de 1965, núm. 132, p. 7989 a 7994 (6 págs.).
- España. Orden de 4 de marzo de 1950 por la que se aprueba el Reglamento de las Escuelas de Ingenieros Industriales. Boletín Oficial del Estado, 15 abril de 1950, núm. 105, p. 1642 a 1650.
- España. Orden de 9 de mayo de 1962 por la que se aprueban los planes de estudios en las Escuelas Técnicas Superiores. «BOE», 19 mayo de 1962, núm. 120, p. 6750 a 6758 (9 págs.).
- España. Orden disponiendo que para el próximo curso en las Escuelas de Ingenieros Industriales rija el plan de estudios que se indican. Gaceta de Madrid, 20 septiembre de 1931, núm. 263, p. 1925 a 1926.
- España. Orden por la que se aprueba el Plan de estudios de Escuelas de Arquitectos Técnicos e Ingeniería Técnica. «BOE», 7 noviembre de 1969, núm. 267, p. 17287 a 17296 (10 págs.).
- España. Orden por la que se implanta por vía de ensayo, nuevo plan de estudios en las Escuelas Industriales (hoy Superiores del Trabajo) de Madrid y Gijón. Boletín Oficial del Estado, 06 abril de 1941, núm. 96, p. 2294 a 2296.
- España. Real Decreto 1267/1994, de 10 de junio, por el que se modifica el Real Decreto 1497/1987, de 27 de noviembre, por el que se establecen las directrices generales comunes de los planes de estudios de los títulos universitarios de carácter oficial y diversos Reales Decretos que aprueban las directrices generales propias de los mismos. «BOE», 11 junio de 1994, núm. 139, p. 18413 a 18420 (8 págs.).



- España. Real Decreto 1393/2007, de 29 de octubre, por el que se establece la ordenación de las enseñanzas universitarias oficiales. «BOE», 30 octubre de 2007, núm. 260, p. 44037 a 44048 (12 págs.).
- España. Real Decreto 1402/1992, de 20 de noviembre, por el que se establece el título universitario oficial de Ingeniero Técnico en Electricidad y se aprueban las directrices generales propias de los planes de estudios conducentes a la obtención de aquél. «BOE», 22 diciembre de 1992, núm. 306, p. 43373 a 43374 (2 págs.).
- España. Real Decreto 1404/1992, de 20 de noviembre, por el que se establece el título universitario oficial de Ingeniero Técnico en Mecánica y se aprueban las directrices generales propias de los planes de estudios conducentes a la obtención de aquél. «BOE», 22 diciembre de 1992, núm. 306, p. 43377 a 43378 (2 págs.).
- España. Real Decreto 1497/1987, de 27 de noviembre, por el que se establecen directrices generales comunes de los planes de estudio de los títulos universitarios de carácter oficial y validez en todo el territorio nacional. «BOE», 14 diciembre de 1987, núm. 298, p. 36639 a 36643 (5 págs.).
- España. Real Decreto aprobando el Reglamento provisional para la aplicación del Estatuto de Enseñanza industrial a las Escuelas de Ingenieros Industriales. Gaceta de Madrid, 19 octubre de 1926, núm. 292, p. 339 a 349.
- España. Real Decreto aprobatorio del adjunto Reglamento de la Escuela Central de Ingenieros industriales de Madrid. Gaceta de Madrid, 11 agosto de 1907, núm. 223, p. 613 a 620.
- España. Real Decreto aprobatorio del reglamento para la Escuela Central de Ingenieros industriales. Gaceta de Madrid, 23 septiembre de 1902, núm. 266, p. 1252 a 1258.
- España. Real Decreto creando Escuelas industriales y señalando las diferentes clases de enseñanza. Gaceta de Madrid, 08 septiembre de 1850, núm. 5900, p. 1 a 2.
- España. Real Decreto de 20 de mayo de 1855 del Ministerio de Fomento estableciendo el Plan de las Escuelas industriales. Gaceta de Madrid, 22 mayo de 1855, núm. 871, (2 págs.).
- España. Real Decreto disponiendo que las Escuelas destinadas a la enseñanza técnica, artística e industrial se denominen Escuelas de Artes e Industrias y comprendan los tres grupos que se mencionan. Gaceta de Madrid, 24 agosto de 1915, núm. 236, p. 568 a 573.



- España. Real Decreto mandando se observe y cumpla el reglamento formado para la ejecución del plan de las Escuelas industriales que se expresa á continuación. Gaceta de Madrid, 28 mayo de 1855, núm. 877, p. 1 a 2.
- España. Real Decreto-ley 14/2012, de 20 de abril, de medidas urgentes de racionalización del gasto público en el ámbito educativo. «BOE», 21 abril de 2012, núm. 96, p. 30977 a 30984 (8 págs.).
- España. Resolución de 30 de diciembre de 1999, de la Universidad Politécnica de Madrid, por la que se ordena la publicación del plan de estudios para la obtención del título de Ingeniero Industrial. «BOE», 27 enero de 2000, núm. 23, p. 3670 a 3719 (50 págs.).
- Estay-Niculcar; C. A.; Córdova, N.; Martí, J. L.; Acevedo-Almonacid, H.; Gracia, S.; Montecel, C.; Campana, I. and Vélez, L. (2002). Aplicación de la Metodología Docente de Proyectos de la ETSEIB en la Docencia de Proyectos Informáticos Ecuador y Chile Usando Entorno Colaborativo Virtual. *VI Congreso Internacional de Ingeniería de Proyectos. Barcelona*. ISBN: 84-600-9800-1.
- Farrerons Vidal, O. and Olmedo Torre, N. (2013). Análisis Histórico de la Influencia de las Tecnologías de la Información y la Comunicación en el Aprendizaje de las Técnicas de Ingeniería Gráfica en España. *XXI Congreso Universitario de Innovación Educativa en las Enseñanzas Técnicas. Valencia*. ISBN: 978-84-608-1217-3.
- Ferrari Padrós, E.; Garcia Colina, F. and Gassó Domingo, S. (2002). Aportación de los Entornos Colaborativos a la Enseñanza de los Proyectos de Ingeniería. *VI Congreso Internacional de Ingeniería de Proyectos. Barcelona*. ISBN: 84-600-9800-1.
- Ferrera, C.; Fernández, J. and Marcos, A. C. (2013). Aprendizaje Colaborativo. Profundizando y Ampliando el Aprendizaje del Diseño de Instalaciones sin Sobre esfuerzo para el Profesor. *XXI Congreso Universitario de Innovación Educativa en las Enseñanzas Técnicas. Valencia*. ISBN: 978-84-608-1217-3.
- Freeman, S.; Eddy, S. L.; McDonough, M.; Smith, M. K.; Okoroafor, N.; Jordt, H. and Wenderoth, M. P. (2014). Active learning increases student performance in science, engineering, and mathematics. *Proceedings of the National Academy of Sciences of The United States Of America*, vol. 111, pp.8410-8415.



- Fridrich, J. and Kubečka, K. (2014). BIM – The Process Of Modern Civil Engineering In Higher Education. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, vol.141, pp. 763 – 767.
- Friedrich, J. M. (2014). A Classroom-Based Distributed Workflow Initiative for the Early Involvement of Undergraduate Students in Scientific Research. *J Sci Educ Technol*, vo. 23, pp.59–66.
- Fuente Valentín, I.; Pardo, A.; Delgado Kloos, C.; Asensio-Pérez, J. I. and Dimitriadis, Y. A. (2009). Modelos de Aprendizaje Colaborativo en Entornos a Distancia con Learning Design: Un Caso de Estudio. *IEEE-RITA*, vol. 4, no. 2, pp. 147-154. ISSN 1932-8540 © IEEE.
- Gabriele, A. J. (2007). The influence of achievement goals on the constructive activity of low achievers during collaborative problem solving. *British Journal of Educational Psychology*, vol. 77, no. 1, pp. 121–141.
- Gallego, D.; Cacheiro, M. L.; Martín, A. M. and Angel, W. (2009). El ePortfolio como estrategia de Enseñanza y Aprendizaje. *Edu-tec. Revista Electrónica de Tecnología Educativa*, no. 30. ISSN: 1135-9250)
- García Carrillo, A.; Gracia Villar, S.; Estay Niculcar, C. and Cisteró Bahima, J. (2006). Metodología de Enseñanza-Aprendizaje Colaborativo y Cooperativo Basada en la Resolución de Problemas-Proyectos con Soporte de Entornos Virtuales de Trabajo. *X Congreso Internacional de Ingeniería de Proyectos, Valencia*. ISBN: 978-84-9705-987-5.
- García Teruel, M. (2011). Propuesta Metodológica y Aplicaciones en el Marco del Espacio Europeo de Educación Superior para la Enseñanza de Materias Tecnológicas Basada en Normas Aplicada a los Estudios de Grado en Ingenierías de la Rama Industrial. *Tesis Doctoral. Departamento de Ingeniería de Construcción y Fabricación Escuela Técnica Superior de Ingenieros Industriales. U.N.E.D. (Universidad Nacional de Educación a Distancia)*.
- Gianluca, E.; Giustina, S.; Wael Fateh, A. and Ayham, F. (2014). Web 2.0 Blended Learning to Introduce e-Business Contents in Engineering Education: a Pilot Case Study in Jordan. *International Journal Of Engineering Education*, vol. 30, pp. 543-559.
- Gómez Garcia, M. (2002). Estudio Teórico, Desarrollo, Implementación y Evaluación de un Entorno de Enseñanza Colaborativa con Soporte Informático (CscI) para Matemáticas. Tesis Doctoral. Departamento de Didáctica y Organización Escolar. Universidad Complutense de Madrid.



- González, M. A.; Alba, E. F. and Ordieres, M. (2014). Ingeniería de Proyectos. *Dextra Editorial S.L.*. ISBN: 978-84-16277-01-8. 2014.
- Goodsell, A. S.; Maher, M. R.; Tinto, V.; Leigh Smith, B. and MacGregor, J. (1992). Collaborative Learning: A Sourcebook for Higher Education. *University Park: National Center on Postsecondary Teaching, Learning, and Assessment (NCTLA). Pennsylvania State University.*
- Gorsuch, R. L., (1983). Factor Analysis. (second edition), *Hillsdale: Lawrence Erlbaum Associates.* ISBN-13: 978-0898592023. ISBN-10: 089859202X.
- Graham W., S.; Raymond, G.; Phillip, W.; Lisa J., S.; Michelle L., T. and Sara, M. (2012). The Value of Fieldwork in Life and Environmental Sciences in the Context of Higher Education: A Case Study in Learning About Biodiversity. *J Sci Educ Technol*, vol. 21, pp.11–21.
- Gregory P., T. and Campbell J., Mc R. (2013). Eliciting Metacognitive Experiences and Reflection in a Year 11 Chemistry Classroom: An Activity Theory Perspective. *J Sci Educ Technol*, vol. 22, pp.300–313.
- Guardiola, C.; Novella, R.; García, A. and Blanco-Rodríguez, D. (2013). Empleo de Metodologías Activas en el Proceso de Enseñanza-Aprendizaje en las Asignaturas del Área de Máquinas y Motores Térmicos en el Grado de Ingeniería Mecánica. XXI Congreso Universitario de Innovación Educativa en las Enseñanzas Técnicas. Valencia. ISBN: 978-84-608-1217-3.
- Gubera, C. and Aruguete, M. S. (2013). A Comparison of Collaborative and Traditional Instruction in Higher Education. *Social Psychology of Education*, vol. 16, pp. 651–659. DOI 10.1007/s11218-013-9225-7.
- Guerra Torrealba, L. R. (2012). Modelo para el Análisis del Comportamiento de los Estudiantes durante Actividades Colaborativas a Través de Internet. *Tesis Doctoral. Departamento Proyectos en la Ingeniería. UPC (Universidad Politécnica de Cataluña).*
- Gumperz, J. J., and Hymes, D. H. (1986). *Directions in sociolinguistics: The ethnography of communication.* Oxford, UK/New York, NY, USA: B Blackwell.
- Güneysu, S. and Tekmen, B. (2010). Implementing an alternative cooperative learning method. *Procedia Social and Behavioral Sciences*, vol. 2, pp. 5670–5674. DOI:10.1016/j.sbspro.2010.03.926.



- Guraya, T.; Iturrondobeitia, M.; Cabedo, L.; Gámez, J.; Martínez, M. and Segarra, M. (2013). Experiencia PBL en el Marco de la Red de Innovación Docente en Ciencia de Materiales IDM@ATI. *XXI Congreso Universitario de Innovación Educativa en las Enseñanzas Técnicas*. Valencia. ISBN: 978-84-608-1217-3.
- Hackbert, P. H. (2004). Building Entrepreneurial Teamwork Competencies in Collaborative Learning via peer Assessments. *Journal of College Teaching & Learning*, vol. 1, no. 12, pp. 39-52.
- Hansson, L.; Redfors, A. and Rosberg, M. (2011). Students' Socio-Scientific Reasoning in an Astrobiological Context During Work with a Digital Learning Environment. *J Sci Educ Technol*, vol. 20, pp.388–402.
- Hernández-Leo, D.; Bote-Lorenzo, M. L.; Asensio-Pérez, J. I.; Gómez-Sánchez, E.; Villasclaras-Fernández, E. D.; Jorrín-Abellán, I. M. and Dimitriadis, Y. A. (2007). Free- and Open-Source Software for a Course on Network Management: Authoring and Enactment of Scripts Based on Collaborative Learning Strategies. *IEEE Transactions on Education*, vol. 50, no. 4, pp. 292-301.
- Hilvano, N. T.; Mathis, K. M. and Schauer, D. P.(2014). Collaborative Learning Utilizing Case-Based Problems. *Journal of College Biology Teaching*. *Bioscene*, vol. 40, no. 2, pp. 22-30. ISSN 1539-2422.
- Hong, J. C.; Yu, K. C. and Chen, M. Y. (2011). Collaborative learning in technological project design. *International Journal of Technology and Design Education*, vol. 21, no. 3, pp. 335-347. DOI: 10.1007/s10798-010-9123-7.
- Hsu, H-Y.; Wang, S-K. and Runco, L. (2013). Middle School Science Teachers' Confidence and Pedagogical Practice of New Literacies. *J Sci Educ Technol*, vol. 22, pp.314–324.
- IFC Workshop. <http://www.ifcworkshop.es> (18/12/2015).
- Ishizaka, A. and Labib, A. (2011). Review of the main developments in the analytic hierarchy process. *Expert Systems with Applications*, vol. 38, n.11, pp. 14336–14345, doi:10.1016/j.eswa.2011.04.143.
- Istifci, I. and Kaya, Z. (2011). Collaborative Learning in Teaching a Second Language Through the Internet. *Turkish Online Journal of Distance Education-TOJDE*, vol. 11, no. 3, art. 3. ISSN 1302-6488).



- Jahng, N.; Nielsen, W. S. and Chan, E. K. H.(2010). Collaborative Learning in an Online Course: A Comparison of Communication Patterns in Small and Whole Group Activities. *Journal of Distance Education Revue de L'éducation á Distance*, vol. 24, no. 2, pp. 39-58)
- Jamal, A.; Essawi, M. and Tilchin, O. (2014). Accountability for Project-Based Collaborative Learning. *International Journal of Higher Education*, vol. 3, no. 1.
- Jiménez Hernández, D. (2015). Estudio empírico sobre los métodos activos utilizados por el profesorado universitario de la Región de Murcia. *Tesis Doctoral. Departamento de Ciencias Sociales, Jurídicas y de la Empresa. UCAM (Universidad Católica de Murcia)*.
- Johnson, D. W. and Johnson, R. T. (1989-04). Cooperation and Competition: Theory and Research. *Interaction Book Company Edina, MN*. ISBN 10: 0939603101/ ISBN 13: 978-0939603107.
- Johnson, D. W.; Johnson, R. T. y Smith, K. A. (1991). "Cooperative Learning: Increasing College Faculty Instructional Productivity." *ASHE-ERIC Higher Education Report No. 4*. Washington D.C.: The George Washington University, School of Education and Human Development. ISBN 1-878380-09-5.
- Jung, J.; Hong, S.; Jeong, S.; Kim, S.; Cho, H.; Hong, S. and Heo, J. (2014). Productive modeling for development of as-built BIM of existing indoor structures. *Automation in Construction*, vol. 42, pp. 68–77.
- Junor Clarke, P. A. and Kinuthia, W. (2009). A Collaborative Teaching Approach: Views of a Cohort of Preservice Teachers in Mathematics and Technology Courses. *International Journal of Teaching and Learning in Higher Education*, vol. 21, no. 1, pp 1-12. ISSN 1812-9129.
- Kaiser, H. F. (1958). The varimax criterion for analytic rotation in factor analysis. *Psychometrika*, vol. 23, no. 3, pp. 187-200.
- Katariina, P. (2015), "How Can Teachers' Entrepreneurial Competences be Developed? A Collaborative Learning Perspective". *Education + Training*, Vol. 57, no. 5, pp. 492 - 511.
- Kaya, T. and Kahraman, C. (2011). "An integrated fuzzy AHP-ELECTRE methodology for environmental impact assessment," *Expert Systems With Applications*, vol. 38, pp. 8553–8562.



- Khoukhi, A. (2013). A Structured Approach to Honours Undergraduate Research Course, Evaluation Rubrics and Assessment. *J Sci Educ Technol*, vol. 22, pp 630–650.
- Kim, H. J.; Miller, H. R.; Herbert, B.; Pedersen, S. and Loving, C. (2012). Using a Wiki in a Scientist-Teacher Professional Learning Community: Impact on Teacher Perception Changes. *J Sci Educ Technol*, vol. 21, pp.440–452.
- Kima, J.; Fischer, M.; Kunz, J. and Levitt, R. (2014). Sharing of Temporary Structures: Formalization and Planning Application. *Automation in Construction*, vol. 43, pp. 187–194.
- Konsky, B. R. von; Martin, R. ; Bolt, S.; Broadley, T. and Ostashewski, N., 2014. Transforming Higher Education and Student Engagement Through Collaborative Review to Inform Educational Design. *Australasian Journal of Educational Technology*, vol. 30, no. 6.
- Kramarski, B., and Weiss, I. (2007). Investigating preschool children’s mathematical engagement in a multimedia collaborative environment. *Journal of Cognitive Education and Psychology*, vol. 6, no. 3, pp. 411–432.
- Kwok-WaiWong, J. and Kuan, K-L. (2014). Implementing ‘BEAM Plus’ for BIM-based sustainability analysis. *Automation in Construction*, vol. 44, pp. 163–175.
- Kyndt, E.; Raes, E.; Lismont, B.; Timmers, F.; Cascallar, E. and Dochy, F. (2013). A meta-analysis of the effects of face-to-face cooperative learning. Do recent studies falsify or verify earlier findings?. *Educational Research Review*, vol. 10, pp. 133–149.
- Lai, E.R. (2011). Collaboration: A Literature Review. *About Pearson’s Research Reports*. <http://www.pearsonassessments.com/research> (28/01/2016)
- L'Ecuyer, K. M.; Pole, D. and Leander, S. A. (2015). The Use of PBL in an Interprofessional Education Course for Health Care Professional Students. *Interdisciplinary Journal of Problem-Based Learning*, vol. 9, no.1.
- Lee, S. W-Y. and Tsai, C-C. (2013). Technology-supported Learning in Secondary and Undergraduate Biological Education: Observations from Literature Review. *J Sci Educ Technol*, vol. 22, pp.226–233.



- Lee, S.; Kang, E. and Kim, H. B. (2015). Exploring the Impact of Students' Learning Approach on Collaborative Group Modeling of Blood Circulation. *Journal of Science Education and Technology*, vol. 24, pp. 234–255. DOI 10.1007/s10956-014-9509-5.
- Lee, Y. S. (2012). Using Building Information Modeling for Green Interior Simulations and Analyses. *Journal of Interior Design*, vol. 37, n. 1, pp. 35-50.
- Li, N.; Becerik-Gerber, B.; Krishnamachari, B. and Soibelman, L. (2014). A BIM centered indoor localization algorithm to support building fire emergency response operations. *Automation in Construction*, vol. 42, pp. 78–89.
- Lipson, A.; Epstein, A. W.; Bras, R. and Hodges, K. (2007). Students' Perceptions of Terrascope. A Project-Based Freshman Learning Community. *Journal of Science Education and Technology*, vol. 16, n. 4.
- Long, S. K. and Carlo, H. J. (2013). Collaborative Teaching and Learning through Multi-Institutional Integrated Group Projects. *Decision Sciences Journal of Innovative Education*, vol. 11, no. 3.
- López-Yáñez, I.; Yáñez-Márquez, C.; Camacho-Nieto, O.; Aldape-Pérez, M. and Argüelles-Cruz, A.J. (2015). Collaborative learning in postgraduate level courses. *Computers in Human Behavior*, vol. 51, pp. 938–944.
- Lu, W. and Olofsson, T. (2014). Building information modeling and discrete event simulation: Towards an integrated framework. *Automation in Construction*, vol.44, pp. 73–83.
- MacGregor, J. (1987). Collaborative Learning: Reframing the Classroom. The Professional &Organizational Development Network in Higher Education.
- Marjan Laal, MD. and Mozghan Laal, MSc. (2012). Collaborative Learning: What is it?. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, vol. 31, pp. 491 – 495.
- Martín del Peso, M.; Rabadán Gómez, A. B. and Hernández March, J. (2010). Mismatches between Higher Education and the Labour Market in Engineering Sciences: The Employers' Point of View in the Region of Madrid. *Revista de Educación*, 360. Enero-abril 2013, pp. 244-267. DOI: 10.4438/1988-592X-RE-2011-360-110.



- Martínez Rubio, J. M. and Escolar Bartet, L. T. (2013). Evaluación Colaborativa en el Aula Usando Google Drive. *XXI Congreso Universitario de Innovación Educativa en las Enseñanzas Técnicas. Valencia*. ISBN: 978-84-608-1217-3).
- Martínez, E. and Escudey, M. (eds.) (1997), Evaluación y decisión multicriterio: reflexiones y experiencias, Santiago, USACH, UNESCO © 1997
- Martínez-Monés, A.; Gómez-Sánchez, E.; Dimitriadis, Y. A., Jorrín-Abellán, I. M.; Rubia-Avi, B and Vega-Gorgojo, G (2005). Multiple Case Studies to Enhance Project-Based Learning in a Computer Architecture Course. *IEEE Transactions on Education*, vol. 48, no. 3.
- McCoy, B. (2013). Active and Reflective Learning to Engage All Students. *Universal Journal of Educational Research*, vol. 1, no.3, pp. 146-153. DOI: 10.13189/ujer.2013.010302).
- McKeachie, W. .J. Pintrich, P. R., Lin, Y., and Smith, D. A. F. (1986). "Teaching And Learning in the College Classroom: A Review of the Research Literature." *Ann Arbor: National Center for Research to Improve Postsecondary Teaching and Learning*, University of Michigan.
- Medina-Domínguez, F.; Sánchez-Segura, M. I.; Moreno, A. and Satín, D. (2015). Collaborative tools: computer science students' skills versus software industry needs. *Journal. Software. Evolution. and Process*, vol. 27, pp. 221–235. DOI: 10.1002/smr.1708.
- Merino Egea, M. (2013). La Educación Expandida en la Universidad del Siglo XXI. *XXI Congreso Universitario de Innovación Educativa en las Enseñanzas Técnicas. Valencia*. ISBN: 978-84-608-1217-3.
- Meulen, E. van der. (2011). Participatory and Action-Oriented Dissertations: The Challenges and Importance of Community-Engaged Graduate Research. *The Qualitative Report*, vol. 16, no. 5, pp. 1291-1303.
- Meža, S.; Turk, Ž. and Dolenc, M. (2014). Component based engineering of a mobile BIM-based augmented reality system. *Automation in Construction*. vol.42, pp. 1–12.
- Miettinen, R. and Paavola, S. (2014). Beyond the BIM utopia: Approaches to the development and implementation of building information modeling. *Automation in Construction*, vol. 43, pp. 84–91.

- Ministerio de Fomento. Nota de prensa (2015). Madrid, 14 de julio 2015. [Http://www.fomento.es/MFOMBPrensa/Noticias/El-Ministerio-de-Fomento-constituye-la-Comisión-la/1b9fde98-7d87-4aed-9a46-3ab230a2da4e](http://www.fomento.es/MFOMBPrensa/Noticias/El-Ministerio-de-Fomento-constituye-la-Comisión-la/1b9fde98-7d87-4aed-9a46-3ab230a2da4e) (20/07/2015).
- Mom, M.; Tsai, M-H. and Hsieh, S-H. (2014). Developing critical success factors for the assessment of BIM technology adoption: Part II. Analysis and results. *Journal of the Chinese Institute of Engineers*, vol. 37; n. 7, pp. 859-868.
- Morales, T. M.; Bang, E. Jin and Andre, T. (2013). A One-year Case Study: Understanding the Rich Potential of Project-based Learning in a Virtual Reality Class for High School Students. *J Sci Educ Technol*, vol. 22, pp.791–806.
- Moratalla Isasi, S. (2006). La Formación de Profesores Mediante la Indagación Colaborativa. *Tesis Doctoral. Departamento de Didáctica, Organización Escolar y Didácticas Especiales. U.N.E.D. (Universidad Nacional de Educación a Distancia)*.
- Morrison, C. D. (2014) "From 'Sage on the Stage' to 'Guide on the Side': A Good Start," *International Journal for the Scholarship of Teaching and Learning*: Vol. 8, no. 1, art. 4.
- Motamedi, A.; Hammad, A. and Asen, Y. (2014). Knowledge-assisted BIM-based visual analytics for failure root cause detection in facilities management. *Automation in Construction*, vol. 43, pp 73–83.
- Muñoz González, J. M.; Rubio García, S. and Cruz Pichardo, I. M. (2015). Strategies of Collaborative Work in The Classroom Through The Design of Video Games. *Digital Education Review*, no. 27, pp. 69-84.
- National Middle School Association. (2010). This we believe: Keys to educating young adolescents. *Westerville, OH*. 1-800-528-NMSA.
- National Survey of Student Engagement. (2012). *Promoting student learning and institutional improvement: Lessons from NSSE at 13*. Bloomington, IN: Indiana University Center for Postsecondary Research.
- NTP 226 (1989). Mandos: Ergonomía de Diseño y accesibilidad. INSHT. *Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo*. NIPO: 211-90-011-7. <http://www.insht.es> (26/04/2015)



- NTP 911 (2011). Productividad y Condiciones de Trabajo: Bases Conceptuales para su Medición. INSHT. *Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo*. <http://www.insht.es> (26/04/2015).
- Nührenbörger, M., and Steinbring, H. (2009). Forms of mathematical interaction in different social settings: Examples from students', teachers' and teacher-students' communication about mathematics. *Journal of Mathematics Teacher Education*, 12(2), 111–132.
- Ortega Valera, A.; Llorca Martínez, J. and Aznar Jiménez, M. (2013). Proyecto Integrado en Tercer Curso de Grado en Ingeniería Mecánica e Ingeniería Electrónica Industrial y Automática. *XXI Congreso Universitario de Innovación Educativa en las Enseñanzas Técnicas*. Valencia. ISBN: 978-84-608-1217-3.
- Pan, N.; Lau, H. and Lai, W. (2010). Sharing e-Learning Innovation across Disciplines: an Encounter between Engineering and Teacher Education. *Electronic Journal of e-Learning*, vol. 8, no. 1, pp. 31- 40. ISSN 1479-4403.
- Park, C-S. and Kim, H-J. (2013). A framework for construction safety management and visualization system. *Automation in Construction*, vol.33, pp. 95–103.
- Patiño Cambeiro, F.; Patiño Barbeito, F.; Goicoechea Castaño, I.; Fenollera Bolívar, M.; Rodríguez Rodríguez, J. (2014). Integration of Agents in the Construction of a Single-Family House Through use of BIM Technology. *Procedia Engineering*, vol.69, pp. 584–593.
- Pérez-Peñalver, M. J. (2013). ¿Cómo Podemos Introducir Competencias Transversales en los Primeros Cursos de las Escuelas Técnicas? Una Experiencia en el Área De Matemáticas. *XXI Congreso Universitario de Innovación Educativa en las Enseñanzas Técnicas*. Valencia. ISBN: 978-84-608-1217-3.
- Petrosino, A. J. (2004). Integrating Curriculum, Instruction, and Assessment in Project-Based Instruction: A Case Study of an Experienced Teacher. *Journal of Science Education and Technology*, vol. 13, n. 4.
- Pijls, M., Dekker, R., and Van Hout-Wolters, B. (2007). Reconstruction of collaborative mathematical learning process. *Educational Studies in Mathematics*, vol. 65, pp. 309–329.



- Pikas, E.; Sacks, R. and Hazzan, O. (2013) Building Information Modeling Education for Construction Engineering and Management. II: Procedures and Implementation Case Study. *Journal of Construction Engineering and Management*, vol. 139, n. 11.
- Pimm, D. (1987). *Speaking mathematically: Communication in mathematics classrooms*. New York: Routledge & Kegan Paul.
- Pinheiro, M. M. and Simões, D. (2012). Constructing Knowledge: An experience of active and Collaborative Learning in ICT Classrooms. *The Turkish Online Journal of Educational Technology*, vol. 11, p. 4.
- Psycharis, S. (2008). The relationship between task structure and collaborative group interactions in a synchronous peer interaction collaborative learning environment for a course of Physics. *Education Information Technologies*, vol. 13, pp. 119–128. DOI 10.1007/s10639-007-9051-7.
- Puyuelo, M.; Ballester, E.; Alcaide, J.; Brusola, F.; March, E. and Monsoriu, J. A. (2013). El Grado de Ingeniería en Diseño Industrial y Desarrollo de Productos De La ETSID en el Marco de las Enseñanzas Técnicas: Acciones, Oportunidades y Limitaciones. *XXI Congreso Universitario de Innovación Educativa en las Enseñanzas Técnicas*. Valencia. ISBN: 978-84-608-1217-3.
- Ramlo, S. E.; McConnell, D.; Duan, Z-H. and Moore, F. B. (2008). Evaluating an Inquiry-based Bioinformatics Course Using Q Methodology. *J Sci Educ Technol*, vol. 17, pp.219–225.
- Rodríguez Montequín, V.; Mesa Fernández, JM; Villanueva Balsera, J. and García Nieto, A. (2013). Using MBTI for the success assessment of engineering teams in project-based learning. *Int J Technol Des Educ*, vol. 23, pp.1127–1146.
- Rogoff, B. (1997). Evaluating development in the process of participation: Theory, methods, and practice building on each other. *Change and Development: Issues of Theory, Method, and Application*. Editado por: *Amsel, E; Renninger, KA.*, pp. 265-285. ISBN 0-8058-1825-1.
- Rosenbloom, E. S. (1997). “A probabilistic interpretation of the final rankings in AHP,” *European Journal of Operational Research*, vol. 96, n. 2, pp. 371–378.



- Rossouw, A.; Hacker, M. and de Vries, M. J. (2011). Concepts and contexts in engineering and technology education: an international and interdisciplinary Delphi study. *Int J Technol Des Educ.*, vol 21, pp 409–424.
- Roy, U. (1998). Preparing Engineers for a Future with Collaborative Technology. *Computer Applications in Engineering Education*, vol. 6, no. 2, pp. 99-104. DOI: 10.1002/(SICI)1099-0542(1998)6:2<99::AID-CAE5>3.0.CO;2-V.
- Rozenszayn, R. and Assaraf, O. B-Z. (2011). When Collaborative Learning Meets Nature: Collaborative Learning as a Meaningful Learning Tool in the Ecology Inquiry Based Project. *Research in Science Education*, vol. 41, pp.123–146. DOI 10.1007/s11165-009-9149-6.
- Rubio Pantoja, L. (2004). El Perfeccionamiento Docente Basado en la Investigación Colaborativa. *Tesis doctoral. Estudio de un Caso. Departamento Didáctica y Organización Escolar. Universitat de València.*
- Saaty, R.W. (1987). The Analytic Hierarchy Process-What It Is And How It Is Used. *Mat/d Modelling*, vol. 9, n. 3-5, pp. 161-176.
- Saaty, T.L. (1977). A scaling method for priorities in hierarchical structures. *Journal of Mathematical Psychology*, vol. 15, n. 3, pp. 234–281, doi:10.1016/0022-2496(77)90033-5
- Saaty, T.L. (1980). *The Analytic Hierarchy Process: Planning, Priority Setting and Resource Allocation, McGraw-Hill, New York, NY, USA, 1980.*
- Saaty, T.L. (1990). How to make a decision: The Analytic Hierarchy Process. *European Journal of Operational Research*, vol. 48, pp. 9-26.
- Saaty, T.L. (1994). How To Make a Decision - The Analytic Hierarchy Process. *Inst Management Sci*, 290 Westminister St, Providence, RI 02903, vol. 24, nº: 6, pp. 19-43.
- Sacks, R. and Pikas, E. (2013). Building Information Modeling Education for Construction Engineering and Management. I: Industry Requirements, State of the Art, and Gap Analysis. *Journal of Construction Engineering and Management*, vol. 139, n. 11.
- Said, H. and El-Rayes, K. (2014). Automated multi-objective construction logistics optimization system. *Automation in Construction*, vol. 43, pp. 110–122.



- Saitta, E. K. H.; Bowdon, M. A. and Geiger, C. L. (2011). Incorporating Service-Learning, Technology, and Research Supportive Teaching Techniques into the University Chemistry Classroom. *J Sci Educ Technol*, vol 20, pp.790–795.
- Saiz, C.; Rivas, S. F. and Olivares, S. (2015). Collaborative learning supported by rubrics improves critical thinking. *Journal of the Scholarship of Teaching and Learning*, vol. 15, no. 1, pp. 10 - 19. doi: 10.14434/josotl.v15i1.12905).
- Saiz-Adalid, L. J. and Gracia-Morán, J. (2013). Fomentar la Habilidad Para Hablar en Público y el Aprendizaje Entre Iguales en Enseñanzas Técnicas. *XXI Congreso Universitario de Innovación Educativa en las Enseñanzas Técnicas. Valencia*. ISBN: 978-84-608-1217-3.
- Salas Morera, L.; Cejas-Molina, M. A.; Olivares-Olmedilla, J. L.; Climent-Bellido, M. S.; Leva-Ramírez, J. A. and Martínez-Jiménez, P. (2013). Improving engineering skills in high school students: a partnership between university and K-12 teachers. *Int J Technol Des Educ*, vol. 23, pp.903–920.
- Sanchez-Elez, M.; Pardines, I.; Garcia, P.; Miñana, G.; Roman, S.; Sanchez, M. and Risco, J. Luis (2014). Enhancing Students' Learning Process Through Self-Generated Tests. *J Sci Educ Technol*, vol. 23, pp.15–25.
- Sancho-Thomas, P.; Fuentes-Fernández, R. and Fernández-Manjón, B. (2009). Learning teamwork skills in university programming courses. *Computers & Education*, vol. 53, pp. 517–531.
- Saville-Troike, M. (2003). *The ethnography of communication: An introduction* (3. ed.). Malden, MA: Blackwell Pub.
- Seo, D.-S. and Won, H. S. (2014). A Survey of the effective BIM introduction plan on school Building construction by Delphi Technique. *The Journal of Educational Environment Researc*, vol. 13, n. 1, pp. 24-31.
- Serra Toledo, R.; Alfonso Perez, I.; Herrera Rodríguez, R.; Ferreira Magalhães, D. S.; Muramatsu, M.; Soga, D. and Zottola Pareja, D. (2013-12). Physical contribution to the development of research skills in engineering students. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, vol. 35, pp.1-8.
- Shrivastav, O. P. (2004). Teaching maintenance at institutions of higher learning. 7th Uicee Annual Conference On Engineering Education, Conference Proceedings: Education For The Global Community. *Monash Engineering Education Series*, pp. 214-216.



- Shuvra, D.; Sandra, A. Y. and Mohan, K. (2010). A 10-Year Mechatronics Curriculum Development Initiative: Relevance, Content, and Results—Part I. *IEEE Transactions on Education*, vol. 53, n. 2.
- Slavin, R. E. (1980). "Cooperative Learning." *Review of Educational Research*, vol. 50, no. 2, pp. 315-342. doi: 10.3102/00346543050002315.
- Slavin, R. E. (1983). When Does Cooperative Learning Increase Student Achievement?. *Psychological Bulletin*, vol. 94, no. 3, pp. 429-445.
- Smith, B. L. and Mac Gregor, J. T. (1992). What is collaborative learning?. Washington Center for Improving the Quality of Undergraduate Education.
- Solbes, J.; Guisasola, J. and Tarín, F. (2009). Teaching Energy Conservation as a Unifying Principle in Physics. *J Sci Educ Technol*, vol. 18, pp.265–274.
- Solnosky, R.; Parfitt, M. K. and Holland, R. J. (2014). IPD and BIM-Focused Capstone Course Based on AEC Industry Needs and Involvement. *Journal of Professional Issues in Engineering Education and Practice*, vol. 140, n. 4.
- Souto-Iglesias, A. (2013). Valoraciones Sobre la Utilización de Software Libre o Propietario en la Formación en Ingeniería. *XXI Congreso Universitario de Innovación Educativa en las Enseñanzas Técnicas. Valencia*. ISBN: 978-84-608-1217-3.
- Spielgel, M.; Schiller, J. and Srinivasan, R.A. (2012). Probability and Statistics. *McGraw-Hill*, 4ª edición.
- Srdjevic, B.; Srdjevic, Z.; Blagojevic, B. and Suvocarev, K. (2013). A two-phase algorithm for consensus building in AHP-group decision making, *Applied Mathematical Modelling*, vol. 37, Issues 10–11, , pp. 6670-6682, ISSN 0307-904X.
- Srinivas, H. (2011). *What is Collaborative Learning?* The Global Development Research Center, Kobe; Japan .(11/01/2016), from: <http://www.gdrc.org/kmgmt/c-learn/index.html>.
- STATGRAPHICS (2015), version 16.04 (32 bits). <http://www.statgraphics.net> (20/06/2015)



- Succar, B.; Sher, W. and Williams, A. (2013). An integrated approach to BIM competency assessment, acquisition and application. *Automation in Construction*, vol.35, pp. 174–189.
- Sujo-Montes, L. E.; Armfield, S.; Yen, C. J. and Tu, C. H. (2015). Chapter 15 Collaborative Learning. R. Papa (ed.), *Media Rich Instruction: Connecting Curriculum To All Learners*, pp. 235-249. DOI 10.1007/978-3-319-00152-4_15.
- Tabachnick, B. G. and Fidell, L. S. (2007). Using Multivariate Statistics (5th ed.). *Boston: Pearson International Edition*. ISBN 978-0-205-45938-4.
- Tang, Y; Guo, R. and Zhang, H. (2012). Design of the High School Collaborative Learning System Based on Network Environment. S. Sambath and E. Zhu (Eds.): *Frontiers in Computer Education*, AISC 133, pp. 267–271.
- Taylor, Mark (2009, 26, 04). “End of University as We Know It”. *The New York-Times*, p. A23.
- Thomas, G. P. and Mc Robbie, C. J. (2001). Using a metaphor for learning to improve students’ metacognition in the chemistry classroom. *Journal of Research in Science Teaching*, vol. 38, n. 2, pp. 222-259.
- Thongkoo, K. and Thongkhu, C. (2015). Empirical Study of Collaborative Learning Knowledge Management System for Thai Students. M. Gen et al. (eds.), *Industrial Engineering, Management Science and Applications, Lecture Notes in Electrical Engineering*, vol. 349, pp. 159-164. DOI: 10.1007/978-3-662-47200-2_18.
- Toetenel, L. (2014). Social networking: a collaborative open educational resource. *Computer Assisted Language Learning*, vol. 27, no. 2, pp. 149-162. DOI:10.1080/09588221.2013.818561.
- Trigueros, C.; Rivera, E.; Pavesio, M. and Torres, J. (2005). Analysis of Student Participation in University Classes: An Interdisciplinary Experience. *Quality of Higher Education*, vol 2, pp. 108-121.
- Tsai, M-H.; Mom, M. and Hsieh, S-H. (2014). Developing critical success factors for the assessment of BIM technology adoption: part I. Methodology and survey. *Journal of the Chinese Institute of Engineers*, vol. 37; n. 7, pp. 845-858.



- Tuset, J. J.; Rovira, A.; Hermosilla, Z. and Fernández, L. (2013). El Foro Como Acción Tutorial en la Enseñanza Universitaria: Dos Experiencias de Tutorías no Presenciales. *XXI Congreso Universitario de Innovación Educativa en las Enseñanzas Técnicas. Valencia*. ISBN: 978-84-608-1217-3.
- Vangrieken, K.; Dochy, F.; Raes, E. and Kyndt, E. (2015). Teacher collaboration: A systematic review. *Educational Research Review*, vol. 15, pp. 17–40.
- Vázquez-Abad, J.; Brousseau, N.; Waldegg, G.; Vézina, M.; Martínez D., A. and Verjovsky, J. P. (2004). Fostering Distributed Science Learning Through Collaborative Technologies. *Journal of Science Education and Technology*, vol. 13, no. 2, pp. 227-232.
- Vesisenaho, M.; Valtonen, T.; Kukkonen, J.; Havu-Nuutinen, S.; Hartikainen, A. and Kärkkäinen, S. (2010). Blended learning with everyday technologies to activate students' collaborative learning. *Science Education International*, vol. 21, no. 4, pp. 272-283.
- Wang, H-Y. and Hwang, G-J. (2012). A Collaborative WebQuest Approach to Improving Students' Learning Achievement in a Computer Course. *Department of Education, National University of Tainan, Taiwan*
- Wang, L. and Leite, F. (2014). Process-Oriented Approach of Teaching Building Information Modeling in Construction Management. *Journal of Professional Issues in Engineering Education and Practice*, vol 140, n. 4.
- Whitman, N. A. and Fife, J. D. (1988). Peer Teaching: To Teach Is to Learn Twice. *ASHE-ERIC Higher Education Report*, no. 4. ISBN-0-913317-48-9.
- Wiener, H. S. (1986). Collaborative Learning in the Classroom: A Guide to Evaluation. *College English*, vol. 48, no. 1, pp. 52-61.
- Wilson, K. L. and Boldeman, S. U. (2012). Exploring ICT Integration as a Tool to Engage Young People at a Flexible Learning Centre. *J Sci Educ Technol*, vol. 21, pp.661–668.
- Witkowski, P. and Cornell, T. (2015). An Investigation into Student Engagement in Higher Education Classrooms. *A Journal of Scholarly Teaching*, vol. 10, pp. 56-67.



- Wu, W. and Issa, R. (2014). BIM Education and Recruiting: Survey-Based Comparative Analysis of Issues, Perceptions, and Collaboration Opportunities. *Journal of Professional Issues in Engineering Education and Practice*, vol 140, n. 2.
- Xie, Y. and Reider, D. (2014). Integration of Innovative Technologies for Enhancing Students' Motivation for Science Learning and Career. *J Sci Educ Technol*, vol. 23, pp.370–380.
- Yigit, T. and Ince, M. (2014). A Framework for Web-Based Learning Object Repository in Computer Engineering Education. *Anthropologist*, vol. 17, pp.883-893.
- Zell, P. and Malacinski, G.M. (1994). Impediments to Developing Collaborative Learning Strategies: The Input vs. Output Conflict. *Journal of Science Education and Technology*, Vol. 3, no. 2, pp. 107-114.
- Zhang, L. (2014). A Meta-analysis Method to Advance Design of Technology-Based Learning Tool: Combining Qualitative and Quantitative Research to Understand Learning in Relation to Different Technology Features. *J Sci Educ Technol*, vol. 23, pp.145–159.
- Zhou, G.; Kim, J. and Kerekes, J. (2011). Collaborative teaching of an integrated methods course, *International Electronic Journal of Elementary Education*, vol. 3, p. 2).

