

El Aprendizaje de la Ingeniería con Trabajos Proyectuales

Ana M^a Sanz Redondo*

Profesora Titular de Expresión Cartográfica, Ana.Sanz@uclm.es

M^a Jesús Casati Calzada*

Profesora Asociada de Expresión gráfica en la Ingeniería, MariaJesus.Casati@uclm.es

Pedro Fabián Gómez Fernández*

Ingenieros de Caminos y Profesor Asociado, pfabian@teleline.es

* E.T.S. Ingenieros de Caminos, C y P, Universidad de Castilla La Mancha

Resumen

En los Trabajos Proyectuales los alumnos se enfrentan a una situación concreta y real de su entorno teniendo que resolver un problema de ingeniería. En los proyectos, los alumnos exploran y adquieren nuevos conocimientos y destrezas y consolidan e integran los conocimientos adquiridos en otras asignaturas. El enfoque, los contenidos y el grado de complejidad de cada trabajo proyectual depende directamente de su ubicación en nuestro plan de estudios.

En concreto, con este Trabajo Proyectual, de segundo curso de la Escuela de Caminos de Ciudad Real, se pretende que el alumno sin haber cursado previamente asignaturas tecnológicas sea capaz de abordar un proyecto de ingeniería de tal forma que a partir de la hipótesis de partida, del análisis del entorno y los datos que posee o puede obtener proponga actuaciones que resuelva el problema planteado y prevea sus carencias formativas para llevarlo a cabo. De esta forma despertamos en el estudiante un interés especial a la hora de estudiar las asignaturas correspondientes.

En este artículo queremos desarrollar una metodología de trabajo con alumnos con escasa y en algunas temáticas, nula formación tecnológica, que les permita tener una visión global de un proyecto de ingeniería y puedan abordarlo desde el análisis y la comprensión de los factores que intervienen en el desarrollo del mismo sin entrar a realizar cálculos específicos de construcción.

Palabras clave: trabajo proyectual, análisis, metodología y evaluación.

1. Introducción

Con los Trabajos Proyectuales, el alumno se enfrenta a un proyecto de ingeniería civil, que propone una actuación sobre el territorio desarrollando una visión global y multidisciplinar del problema, definiendo las tareas a llevar a cabo y organizando el trabajo en grupo. Los casos reales propuestos como tema de proyecto, son interdisciplinarios en los que puede intervenir cualquier materia de la carrera: ingeniería medioambiental, estructuras, hidráulica, urbanismo, tráfico, etc.

A partir de clases magistrales teóricas y prácticas, seminarios, conferencias, obtención de información en bases de datos y/o uso de bibliografía, aportaciones de los profesionales en el tema y la ayuda del tutor, el alumno va adquiriendo los conocimientos necesarios para abordar y resolver los problemas que se le plantean en el desarrollo del trabajo. Los resultados del proyecto son recogidos en un documento que será la base de su evaluación junto con otros trabajos puntuables y que se describirán en otro punto.

El trabajo en grupo permite enfrentarse a un problema mejor que de forma individual. Los alumnos discuten más abiertamente entre ellos que delante del profesor y pronto descubren que si no pueden argumentar sus puntos de vista o sus propuestas éstas no serán incluidas en el proyecto.

Además de los beneficios académicos que se obtienen con esta forma de estudiar, existen otras ventajas tales como aprender a organizarse el trabajo, habilidad para cooperar y negociar, capacidad para ver un problema de manera global, formulación y resolución de problemas parciales, trabajar en equipo, dominar el lenguaje escrito y hablado y justificar y defender en público las decisiones tomadas. Todas estas cualidades son muy apreciadas entre los empresarios europeos y españoles (Ureña, 1998).

Los Trabajos Proyectuales son una herramienta de reflexión de los conceptos teóricos aprendidos con anterioridad o simultáneamente en su aplicación a un caso concreto. En el plan de estudios de la carrera de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos de Ciudad Real (UCLM), la formación del ingeniero se adquiere mediante un 25% de aprendizaje a través de Trabajos Proyectuales, uno por cuatrimestre desde segundo curso hasta cuarto (seis en total). En los dos que se imparten en segundo curso en los que el alumno aún no ha empezado a estudiar los cálculos técnicos de una obra, tienen como finalidad reforzar los conocimientos adquiridos en asignaturas básicas como Expresión Gráfica-Cartográfica, Ecología, Ingeniería del Terreno y Geometría. No obstante, a lo largo del segundo cuatrimestre de segundo curso se desarrolla la asignatura de Hidráulica e Hidrología que puede servirnos de base para realizar cálculos sencillos de la obra proyectada.

Una vez concebido el proyecto de manera global, la expresión en lenguaje gráfico de las ideas de proyecto, el diseño de la obra, la obtención y uso de la información geográfica a escalas convenientes, la definición geométrica de la obra, su replanteo, el control de su ejecución y medición son actividades propias de la implantación de una infraestructura en un territorio y constituyen el pilar donde se fundamenta la asignatura de Trabajo Proyectual de segundo curso de la Escuela de Caminos de Ciudad Real.

En concreto, el proyecto que desarrollan los alumnos de segundo curso durante el segundo cuatrimestre es una Obra Hidráulica Lineal que se ejecuta sobre una zona concreta de la región.

Castilla La Mancha es una de las regiones más extensas de España, caracterizada por una población dispersa, un amplio territorio con escasos recursos hídricos y sobreexplotación de los mismos y lugar de conexión entre el centro peninsular y el Sur, el Este y el Oeste peninsulares.

El desarrollo regional de Castilla La Mancha va a depender en gran medida de la capacidad científico-técnica para la ordenación de dichos recursos hídricos y de sus áreas fluviales y para la creación de infraestructuras, competencia hasta ahora de los Ingenieros de Caminos. Además, la región posee un recurso territorial muy importante, considerado en sí mismo y como paisaje susceptible de ser ordenado.

Por otra parte, nuestra sociedad utiliza un territorio cada vez más ocupado por el hombre, y demanda obras públicas no sólo técnicamente correctas, sino que, como cada vez debe convivir más con ellas, desea que estén mejor diseñadas. Además la conciencia ecológica es cada vez más importante y nuestra sociedad necesita obras públicas compatibles con la naturaleza (Florín, 1998). En consecuencia, cobran especial relevancia en primer lugar el conocimiento de los procesos naturales y territoriales sobre los que se va a incidir, y en segundo lugar, la forma en la ingeniería no sólo como aspecto funcional sino también en su vertiente plástica.

2. Objetivos

Como ya se ha enunciado, en la actualidad, la sociedad demanda a los Ingenieros de Caminos la proyección de obras públicas funcionales, bien diseñadas y acordes con el entorno que las recibe. Cualquier actuación sobre el territorio requiere un conocimiento detallado del mismo, ya sea a través de visitas a campo, de fotografías aérea o terrestre, de mapas de tipo cualitativo (mapas de usos del suelo, geológicos) o cuantitativo (topográficos) o incluso perspectivas de determinadas zonas que nos permitan entender y analizar el paisaje para poder así dar forma y encajar la infraestructura en un espacio concreto (Sanz, 2003).

Esta nueva orientación profesional del Ingeniero de Caminos exige unas habilidades de comunicación gráfica que en la formación universitaria tradicional no se han venido facilitando. El dominio de la herramienta gráfica, no sólo como técnica de representación sino como instrumento de diseño, análisis y comprensión de situaciones complejas, es una necesidad para los profesionales contemporáneos (Ribalaygua, 2002).

Para el desarrollo de los Trabajos Proyectuales se considera que el dominio del dibujo en sus tres vertientes: geometría, expresión gráfica y cartografía es fundamental como herramienta de trabajo en los primeros talleres y básico en los siguientes (Ribalaygua, 2003).

En un Trabajo Proyectual es importante establecer los objetivos conceptuales nuevos que debe aprender el alumno al tiempo que resuelve los diferentes problemas con los que se enfrenta cuando aborda el proyecto completo. Estos conocimientos teóricos van ligados a la temática del proyecto y evidentemente son diferentes según el curso en que nos encontremos dentro del plan de estudios de nuestra titulación, y deben de aparecer cada año en el diseño del proyecto independientemente de la localización geográfica, el tema y el problema a resolver. Estos objetivos los hemos denominado específicos y se detallan en el siguiente epígrafe los correspondientes al Trabajo Proyectual: Obra Hidráulica Lineal.

2.1. Específicos

- Adquirir la destreza necesaria en el dibujo, realización e interpretación de cartografía.
- Adquirir conocimientos sobre cartografía digital: Modelos Digitales del Terreno.
- Manejar instrumentos Topográficos: GPS.
- Adquirir nueva cartografía: vuelo fotogramétrico.
- Redactar un Anejo Topográfico.
- Comprender los condicionantes topográficos-cartográficos en una obra para conseguir un mejor diseño.
- Realizar mediciones.
- Hacer replanteos.
- Ampliar y asentar contenidos conceptuales y procedimentales adquiridos en Ingeniería del Terreno y Morfología del Terreno.
- Profundizar en los conocimientos de procesos ambientales (el medio ambiente).

En todos los Trabajos Proyectuales, desde segundo a cuarto, existen unos objetivos transversales comunes que van desarrollándose en función del curso con un grado diferente de dificultad y exigencia. Estos objetivos se refieren por una parte a capacidades y destrezas que debe ir adquiriendo el alumno durante el desarrollo de los diferentes proyectos a lo largo de la carrera; y por otra a actitudes que el alumno debe asumir cuando intenta resolver un problema concreto con múltiples soluciones. Estos objetivos se detallan en los epígrafes Capacidades y Destrezas y Objetivos Actitudinales.

2.2. Capacidades y Destrezas

- Buscar información específica en red o en Organismos Públicos, analizarla, criticarla y sintetizarla.
- Adquirir la capacidad de coordinar y jerarquizar la información.
- Manejar los medios y técnicas gráficas que requiere la representación de los proyectos de ingeniería.
- Adquirir la capacidad de trabajar en grupo: planificar el trabajo a realizar, establecer el orden de actuación, repartir las tareas, puesta en común y control del tiempo empleado.
- Organizar y estructurar los planteamientos necesarios para elaborar un proyecto o colaborar en su realización.
- Adquirir una visión general de una obra y un orden de magnitud.
- Desarrollar el sentido común.
- Adquirir la capacidad de presentar y defender en público sus propuestas.
- Redactar un proyecto a partir de los trabajos parciales realizados en cada una de las entregas.
- Discernir lo que debe aparecer en la memoria final del proyecto frente a ejercicios realizados durante las entregas para conseguirlo.
- Sintetizar un trabajo.

2.3 Objetivos Actitudinales

- Favorecer una actitud positiva del alumno hacia la parte de la ingeniería y la ciencia contemplada.

- Desarrollar en el alumno la necesidad de ampliar el número y la calidad de los datos y conocimientos de los que dispone para resolver el problema.
- Despertar en el alumno la inquietud por la solución del mismo problema de forma alternativa.
- Despertar en el alumno la inquietud por la solución de problemas paralelos planteados en la asignatura.
- Fomentar en el alumno la sensibilidad por el medio comprendiendo los condicionantes impuestos por el territorio que acoge la obra proyectada.

3. Metodología

Para la realización de los Trabajos Proyectuales se hace una división de los alumnos mediante grupos de trabajo, generalmente con un número máximo de 5 alumnos por grupo, normalmente éstos son fijos para todo el desarrollo de cada Trabajo Proyectual. Existen dos tendencias a la hora de confeccionar los grupos de alumnos: una en la que los alumnos se agrupan libremente y otra en la que estos grupos los realiza el profesor utilizando el criterio de que en cada grupo haya diversidad entre los expedientes académicos de los alumnos que participan. La ventaja que proporciona el primer método es fundamentalmente la mayor coordinación del grupo, pero se observan diferencias acusadas entre grupos en el rendimiento y las calificaciones, el segundo método se ajusta más a la realidad del trabajo profesional, observando más dificultad para el trabajo en grupo, pero más facilidades para analizar el trabajo individual del alumno.

Las clases de Trabajos Proyectuales se abordan de manera diferente a las de una asignatura tradicional teniendo siempre en cuenta el papel activo del alumno en este proceso de aprendizaje. Así las clases teórico-prácticas magistrales se alternan con talleres, clases críticas de los trabajos realizados por los alumnos, tutorías regladas, conferencias, etc. A continuación explicamos con más detalle en qué consiste cada una de ellas:

- a) Clase teórica magistral: los alumnos reciben los conocimientos teóricos básicos necesarios para realizar alguna de las tareas encomendadas. Ejemplo: los fundamentos de la cartografía digital. Después determinarán el MDT (Modelo digital del Terreno) de la zona objeto de estudio.
- b) Clase magistral práctica: están relacionadas con el manejo de instrumentos topográficos o de herramientas específicas tales como AUTOCAD y/o CARTOMAP. Ejemplo: los alumnos asisten a una clase práctica de cómo se maneja el GPS (previamente han asistido a una clase teórica sobre los fundamentos del Sistema de Posicionamiento Global) y montan las bases para el levantamiento topográfico de la zona.
- c) Tutoría reglada: antes de abordar una entrega, los alumnos deben reunirse en grupo, reflexionar sobre el tema, buscar incluso información adicional y decidir qué van a hacer, porqué lo van a hacer y cómo lo van a hacer. Antes de realizarlo, comentan con el tutor sus ideas, las dudas y las posibles alternativas y éste ayuda en la toma de decisiones o alternativas.

- d) Clase de crítica: cuando los alumnos exponen el trabajo realizado en una de las entregas, el profesorado discute con ellos la ejecución de la entrega, la documentación presentada (si es válida o no), si ha sido suficientemente analizada; la estructura y organización del trabajo, etc. Estas clases pueden ser individuales, en grupo o colectivas.
- e) Conferencias: a lo largo del cuatrimestre se invita a uno o dos expertos en algunos temas colaterales que surgen en el proyecto como consecuencia de inquietudes de los alumnos o previstas por el profesorado en la fase de diseño del trabajo.
- f) Talleres del Alumno en grupo: se realizan sesiones de trabajo en grupo de los alumnos en el aula para hacer las entregas de grupo.
- g) Trabajo del Alumno individual: tiempo que el alumno dedica a la realización de las entregas individuales, que suelen ser: la descripción del lugar, la elección de alternativas y otra que puede variar cada año, y a la preparación de las entregas en grupo.

Los alumnos disponen de un lugar físico para trabajar en el centro, para cada grupo existe una zona equipada con todo el material necesario para el trabajo: ordenador, impresora, paneles, planeros, etc.

Una distribución del tiempo empleado por el alumno en las actividades desarrolladas es la que se muestra en la Tabla 1.

Tabla 1. Porcentaje de tiempos en el desarrollo de las actividades del Trabajo
Proyectual: Obra Hidráulica Lineal

ACTIVIDADES	PORCENTAJE DE TIEMPOS
EN CLASE	
Clase teórica magistral	15
Clase magistral práctica	11
Tutoría reglada	5
Clase de crítica	2
Conferencias	2
Talleres del alumno en grupo	50
Trabajo del alumno individual	15
FUERA DE CLASE	
Estudio de los contenidos teóricos	15
Trabajos del alumno en grupo	60
Trabajos del alumno	10
Tutorías	6
Lecturas	2
Preparación y defensa del proyecto	4
Preparación examen	3

4. Desarrollo del Trabajo Proyectual del segundo cuatrimestre de segundo curso: Obra Hidráulica Lineal

La mayor parte de la actividad de un Ingeniero de Caminos es la de proyectar obras públicas, conseguir que un alumno desde el principio se enfrente a esta situación le introduce dentro del ámbito de su profesión y le despierta el interés por conocer la realidad de campo. Para esto, nos apoyamos en la experiencia de un profesional que trabaja fuera del ámbito universitario y que nos propone cada año un problema real cercano y con múltiples soluciones.

A partir de un caso concreto, nosotros establecemos una serie de actividades encaminadas a resolver el problema planteado. Partimos de un objetivo global y lo fraccionamos en distintas tareas que los alumnos resuelven semanal o quincenalmente con apoyo teórico o práctico según los casos (Gómez, 2003).

Una vez realizadas las distintas fases se hace una puesta en común, dialogando y corrigiendo las propuestas y las soluciones adoptadas e incluso se proponen nuevas actividades en función de las soluciones adoptadas.

Esto permite que el proyecto sea dinámico, continuamente cambiante e ilusionante para el alumno que ve como sus aportaciones individuales o en grupo son tenidas en cuenta a la hora de tomar decisiones para realizar el proyecto.

En términos generales, el proyecto suele estar estructurado en dos partes: i) análisis del entorno, ii) rehabilitación de la zona. Cada una de ellas se descompone en diferentes tareas que globalmente nos permite definir el caso estudiado: encajando la infraestructura en un espacio concreto, respetando el entorno que la recibe, proponiendo la forma de esa obra con posibilidad genérica de funcionar-resistir, dibujando los distintos planos, secciones, vistas y detalles para concretar su propuesta y midiendo algunas unidades de obra.

4.1. Análisis del entorno

1. Presentación del problema y visita de campo.

Reconocimiento del entorno (topografía, paisaje, estructuras presentes, flora, etc.), plano de situación, fotografías, reseña histórica. Búsqueda de información complementaria.

2. Análisis cartográfico y/o fotográfico de la evolución del tramo de río.

Utilización y análisis de mapas digitalizados y/o fotografías aéreas, dibujos y resumen gráfico de la situación. Definición a distintas escalas de un plan de vuelo en caso de deficiencias cartográficas de la zona.

3. Levantamiento topográfico de la zona.

Levantamiento topográfico de la zona a escala de detalle y generación del Modelo Digital del Terreno (MDT). Establecimiento de las bases con GPS. Aprendizaje de un programa topográfico: CARTOMAP5.0

4. Información complementaria sobre la zona.

Presentación de la geología del entorno de la cuenca en general, presentación y discusión de la problemática (física, económica y social) de la zona y de la cuenca.

5. Estudio hidrológico de la cuenca del río.

Calculo de las necesidades hídricas, de las aportaciones naturales y del caudal necesario para llevar a cabo el trasvase.

6. Diagnóstico y propuesta de alternativas.

Presentación del análisis del entorno y de las propuestas de rehabilitación de la zona.

4.2. Rehabilitación de la zona

1. Discusión de las alternativas y selección de una propuesta.

Elección del Trazado de la conducción

2. Diseño hidráulico de la conducción.

Definir tipo de conducción, sección, material, así como la velocidad y el caudal necesario que circulará por la misma..

3. Cubicación y replanteo.

Realizar el perfil longitudinal y los perfiles transversales de la conducción calculando la sección en desmonte y terraplén y el volumen del movimiento de tierras. Replanteo.

4. Organización de la Obra.

Planificar las actividades a realizar en el proyecto, calculando el tiempo necesario para llevarlas a cabo. Representación en un PERT.

5. Diseño de un detalle significativo.

Presentación de dibujos en planta, alzado, etc. acotados que caracterizan el objeto y/o cálculos específicos referentes al detalle proyectado.

6. Presentación del proyecto y discusión.

5. Evaluación

La enseñanza en forma de Trabajos Proyectuales es una metodología, no un método de evaluación. El alumno, en ningún momento, debe tener la sensación de aprobado simplemente porque ha resuelto cada una de las entregas parciales que se le ha ido demandando. El estudiante debe demostrar que ha adquirido los conocimientos específicos y las capacidades y destrezas definidos en los objetivos de cada proyecto, y para ello, debe enfrentarse a exámenes tradicionales donde responda a las cuestiones básicas de las asignaturas implicadas en cada proyecto.

Por otra parte, tras un duro cuatrimestre formándose, buscando información en internet o en Organismos Públicos, jerarquizando dicha información, analizándola sintetizándola, usando sólo aquella que le proporciona una respuesta válida y razonable a su problema, el alumno debe tener la seguridad de haber aprendido lo suficiente para enfrentarse a otro proyecto de las mismas características o similares y por tanto aprobar.

Nuestro proyecto se evalúa teniendo en cuenta los dos criterios anteriores, y la calificación por alumno será la media obtenida a partir de las notas de los siguientes epígrafes:

- Entregas: esta calificación se obtiene como la media ponderada de las 10 entregas parciales realizadas en el Trabajo Proyectual. Los pesos dados a las entregas sobre Cartografía e Hidráulica son mayores que el resto. La ponderación también es diferente según la entrega sea individual o de grupo, y la dificultad de la misma.
- Exámenes: nota media de los dos parciales.
- Documento Final: esta nota se calcula como la media entre el documento escrito (memoria) y un panel A0 resumen gráfico del proyecto.
- Exposición y Defensa: esta nota es la media entre la exposición oral del proyecto (lo realizan todos los miembros del grupo) y la que obtiene cada alumno individualmente cuando responde a las preguntas del tribunal. Estas preguntas pueden ser sobre decisiones tomadas en el proyecto, sobre fallos encontrados, sobre conceptos utilizados que avalan las decisiones tomadas, etc.

Para que el alumno supere la asignatura deberá aprobar cada una de las entregas parciales. Cada una de las partes no se compensan con el fin de que con el aprobado se demuestre que quedan cubiertos todos los conocimientos y destrezas ya expuestos en los objetivos.

6. Conclusiones

Este método de enseñanza proporciona una aplicación directa de la teoría mediante la resolución de problemas reales. Se aprenden las materias con la práctica.

El alumno concluye un proyecto en todas sus partes, toma contacto con un problema real, el coste económico de la realización de una obra civil, los múltiples factores que intervienen a la hora de realizar un proyecto-construcción.

El Trabajo Proyectual sirve fundamentalmente para que el alumno desarrolle su propio entendimiento, sepa buscar soluciones y comience a pensar de forma precisa las soluciones que puede aportarse a un problema real y concreto.

Esta metodología requiere una mayor dedicación del profesor en la tarea docente y una mayor implicación del alumno en su aprendizaje.

7. Bibliografía

Florín M. y Montes, C., *Which are the relevant scales to assess primary production of Mediterranean semi-arid lakes?*, International Journal of Ecology and Environmental Sciences, 24:161-177, (1998).

Gómez, P.F. Sanz, A.; Florín, M. y Sánchez, J., *La Ingeniería Civil en la restauración de humedales: Aplicación a la Laguna de Caracuel*, IV Congreso Nacional de la Ingeniería Civil, 26-28 Noviembre, Madrid, Tomo II:1505-1511, (2003).

Ribalaygua, C., *Expresión Gráfica en la Ingeniería: Nuevos métodos para nuevos objetivos*, Congreso Internacional de Docencia Universitaria e Innovación, 1-3 de Julio en Tarragona, (2002).

Ribalaygua, C., Sanz, A. y Casati, M. J., *Expresión Gráfica en la E.T.S. de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos de Ciudad Real*, Encuentro Internacional de enseñanza de la Ingeniería Civil, 18-20 Septiembre en Ciudad Real, (2003).

Sanz, A., *La Expresión Gráfica-Cartográfica en la E.T.S. de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos de Ciudad Real*, Encuentro Internacional de enseñanza de la Ingeniería Civil, 18-20 Septiembre en Ciudad Real, (2003).

Ureña, J.M., *Proyecto de nueva Escuela de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos en Ciudad Real*, Revista de Obras Públicas, Año CXLV, nº 3.380, Octubre, (1998).