

## El aprendizaje cooperativo como metodología para estudiar las propiedades mecánicas de los materiales en la Ingeniería Civil

## Cooperative learning as a methodology to learn mechanical properties of materials in Civil Engineering

**Porras, R.**

Universidad de Castilla-La Mancha (España)

**Arias-Trujillo, J.**

Universidad de Extremadura (España)

**Porras, R.**

Universidad de Castilla-La Mancha (España)

**Arias-Trujillo, J.**

Universidad de Extremadura (España)

### Resumen

En el presente artículo se muestra una actividad propuesta a los alumnos de primer curso de Ingeniería Civil en la Escuela de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos de la Universidad de Castilla-La Mancha. Por la orientación del trabajo y la distribución en pequeños grupos (3 alumnos por grupo) se trata de una actividad clasificada dentro de la tipología de Aprendizaje Cooperativo (AC). Dicha actividad consiste en calcular de forma experimental el módulo de elasticidad de una banda elástica de goma, previamente entregada por el profesor.

### Abstract

The current work presents an activity developed by first-year undergraduate students of Civil Engineering at the University of Castilla-La Mancha. Due to the character of this activity and the type of organisation of the students in small groups (3 people in each group), this activity can be defined as Cooperative Learning (CL). In this process, students must estimate by using an experimental design the Young's Modulus of a rubber elastic band, which has been previously delivered to the students by the professor. Before the beginning of this task, students have studied all the

Los alumnos poseen los conocimientos teóricos necesarios para afrontar dicho experimento, pero no se les ha dado ninguna indicación previa de cómo llevarlo a cabo, así pues deberán dilucidar una metodología de ensayo propia que les lleve hasta la solución del problema. La actividad propuesta, se ha desarrollado durante seis cursos académicos y aunque de carácter voluntario, tiene una gran acogida por parte del alumnado. Los resultados obtenidos atendiendo a criterios como: evaluación, consecución de objetivos, implicación del alumnado, etc. han sido muy satisfactorios.

En este documento, en primer lugar se realiza una presentación del contexto educativo en el que queda inmersa la asignatura y algunas de las características más singulares de la titulación. A continuación se presenta el currículum de la asignatura y se describe la metodología clásica de enseñanza del concepto de elasticidad para, posteriormente, describir la estrategia docente propuesta. Finalmente se muestran algunas de las soluciones adoptadas por los alumnos para realizar la actividad y se presentan las conclusiones más relevantes.

**Palabras clave:** aprendizaje cooperativo, ingeniería civil, materiales de construcción, elasticidad, experiencia docente, Universidad.

necessary theoretical concepts to develop this experiment, however neither kind of extra indications have been given to them about how to resolve it, so that they should elucidate on their own a testing methodology which allow them to reach the goal of this task. This activity has been carried out for five years, and in spite of its non mandatory character, students have showed a great interest and motivation for it. Paying attention to several criteria such as evaluation, reached objectives or the involvement of the students. The results obtained from the activity have been highly satisfactory both for professors and students.

The content of this document is structured as follow: first, the educational context is exposed including the development the subject and the most singular characteristics of the degree. After that, both the curriculum of the subject and the traditional way of teaching Elasticity are exposed. Moreover, it is described the learning strategy proposal and some of the solutions adopted by students. Finally, the most relevant conclusions are drawn.

**Key words:** cooperative learning, civil engineering, construction materials, elasticity, educational experience, University.

## Introducción

*El trabajo del maestro no consiste en enseñar todo lo aprendible, sino en producir en el alumno amor y estima por el conocimiento, y ponerlo en el camino correcto para aprender y mejorarse.*

(John Locke, 1632-1704)

Con esta cita como principal motivación, se presenta una aplicación de la metodología basada en el aprendizaje cooperativo (AC) orientada a que los alumnos comprendan

el comportamiento mecánico de los materiales de construcción, en particular en su rango elástico, a través del cálculo de uno de los parámetros más relevantes del mismo, el módulo de elasticidad. Para ello los alumnos dispondrán de un material puramente elástico: una goma. Como afirmara Kagan (1994), en el aprendizaje cooperativo se otorga un papel fundamental a los alumnos, como actores principales de su propio proceso de aprendizaje. Así los alumnos deberán trabajar juntos para lograr objetivos compartidos y buscar los resultados que son beneficiosos para ellos mismos y para los otros miembros del grupo (Johnson y Johnson, 1991).

Además, aprender cooperativamente representa una ocasión privilegiada para alcanzar objetivos de aprendizaje muy diversos, no solo referidos a los contenidos propios de la asignatura (competencias específicas), si no también orientados al desarrollo de habilidades y destrezas interpersonales (competencias transversales), con claros beneficios para el aprendizaje de los alumnos (Prieto, 2007).

Cabe mencionar que para la formación del Ingeniero Civil es fundamental conocer el comportamiento mecánico de los materiales. Ya Eduardo Torroja, ingeniero de reconocido prestigio nacional, en su conocida obra “Razón y Ser” (Torroja, 1984), señalaba la importancia que merece el estudio de los materiales y la selección adecuada de los mismos: “en todo problema estructural encontramos un material con sus específicas características, una forma que nuestra imaginación le da y un proceso que nos permite realizarlo en la práctica con ese material”.

Este documento se estructura de la siguiente manera. En primer lugar se realiza una presentación del contexto educativo en el que se desarrolla la asignatura y algunas de las características más singulares de la titulación donde se encuadra esta experiencia docente. A continuación se presenta el currículum de la asignatura. En el siguiente punto se describe la metodología clásica de enseñanza del concepto de elasticidad para posteriormente contrastarla con la innovadora experiencia docente que se describe en este documento. Antes de presentar las conclusiones más relevantes que se han extraído de la puesta en marcha de esta experiencia, se muestran algunas de las soluciones adoptadas por los alumnos para realizar la actividad.

## Contexto educativo y características singulares de la titulación

La actividad que se presenta en este artículo se ha desarrollado dentro de la asignatura “Ciencia y Tecnología de Materiales en Ingeniería Civil”, asignatura obligatoria de 6 créditos ECTS, del primer curso en la titulación de Grado en Ingeniería Civil impartido en la Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos de la Universidad de Castilla-La Mancha.

El modelo curricular elegido para la Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos de la Universidad de Castilla-La Mancha sigue una metodología de aprendizaje basado en proyectos (PBL: Project Based Learning). Los trabajos proyectuales son el eje del diseño curricular de la titulación y son temáticamente independientes (cada uno de ellos vinculado con un campo concreto de la actividad profesional del Ingeniero de Caminos) pero están funcionalmente relacionados ya que los trabajos de segundo sirven de base para los siguientes en tercero y cuarto curso. Durante el primer año de estudios no se desarrollan trabajos proyectuales (TP), haciéndose

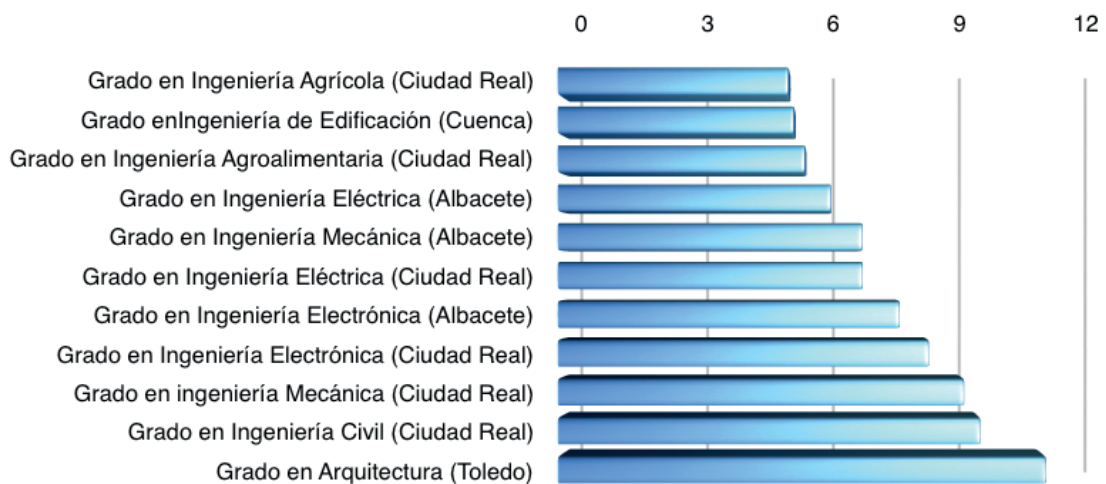
principalmente énfasis en las asignaturas de ciencias básicas como Física, Instrumentos Matemáticos, Informática, Estadística, Geometría, etc. Sin embargo, se presenta una novedad frente a los planes de estudios tradicionales al incorporar las asignaturas de Ecología y Ciencia y tecnología de materiales en Ingeniería Civil (Ureña, 1998).

La asignatura “Ciencia y Tecnología de Materiales en Ingeniería Civil” es la primera de perfil tecnológico de la carrera, así como, la primera de directa aplicación a la ingeniería, lo cual, a lo largo de los años, se ha demostrado que incrementa notablemente el interés del alumnado sobre la misma.

La asignatura se ha desarrollado habitualmente en el primer cuatrimestre de cada curso académico, entre los meses de septiembre a diciembre, con 5,5 horas de clase a la semana, distribuidas en dos sesiones de 2 horas de duración y una de 1,5 horas. Las clases son de tipo teórico-prácticas, en las que se realiza una presentación teórica de los contenidos junto con la resolución de problemas prácticos. Además, la asignatura también incluye prácticas de laboratorio, con un total de 3 sesiones, que se desarrollan en el Laboratorio de Materiales y Estructuras de la Escuela.

En la evaluación de la asignatura intervienen, con distinto factor de ponderación, actividades como: la entrega de ejercicios resueltos, los informes correspondientes a las prácticas de laboratorio y la participación en clase. No obstante, el elemento principal para la superación de la asignatura es la realización de pruebas de evaluación (examen). Las oportunidades de examen que se llevan a cabo a lo largo del cuatrimestre son varias, ya que la asignatura se puede superar por parciales, con un total de dos exámenes parciales. Además, el alumno cuenta con dos opciones de evaluación global al final del cuatrimestre, en una convocatoria ordinaria (diciembre) y otra extraordinaria (junio).

Debido a que el diseño curricular de la titulación está basado en metodologías de aprendizaje activo, especialmente PBL, la universidad tomó conciencia de ello desde el inicio del funcionamiento de la titulación, e incluso en la fase de diseño de la misma, ofertando un número de plazas no muy elevado, para que de este modo dichas metodologías se pudieran llevar a la práctica sin grandes dificultades. Es por esto que, cada año la titulación incorpora un máximo de 60 nuevos alumnos, cuyas notas medias de entrada se pueden considerar elevadas. En este sentido se presenta la Figura 1, en la cual se muestran las notas de corte para el acceso a todos los grados de ingeniería y arquitectura ofertados por la Universidad de Castilla-La Mancha. En la misma se ve como la nota de corte de Grado en Ingeniería Civil es la segunda más alta, sólo por detrás del Grado en Arquitectura (Toledo). Esto enmarca la asignatura en un entorno privilegiado tanto por el número de alumnos, que conlleva una ratio alumno-profesor baja, como por la preparación y nivel de los alumnos que cursan la asignatura. Este bajo ratio alumno-profesor facilita la implantación de nuevas metodologías de enseñanza, como por ejemplo la enseñanza basada en proyectos que caracteriza a la Escuela o la puesta en marcha de otras experiencias docentes (Arias-Trujillo y Porras, 2013; López-Querol *et al.*, 2014; Menéndez, 2003). También contribuye a una mejor atención al alumno en las tutorías personalizadas. De forma generalizada en la Escuela, los alumnos no disponen únicamente del horario preestablecido, sino que disponen de gran libertad para plantear dudas a los profesores de la asignatura en cualquier momento, tanto de forma presencial como por correo electrónico.



Fuente: Elaboración propia . Datos: [www.uclm.es](http://www.uclm.es)

**Figura 1.** Notas de corte de los alumnos de ingenierías en la UCLM, curso 2011-2012.

Es de suma importancia que el ingeniero profesional conozca cómo se seleccionan los materiales y sepa cuál se ajusta a las demandas del diseño, económicas y estéticas, así como de resistencia y durabilidad. El ingeniero debe comprender las propiedades de los materiales y sus limitaciones (Ashby y Jones, 2008). Este hecho marca la importancia de la mencionada asignatura en la formación del Ingeniero Civil. Además esta asignatura sirve de base teórica para un amplio conjunto de asignaturas relacionadas con las estructuras, la construcción y la ingeniería del terreno.

### Currículum de la asignatura

Como se ha mencionado en el apartado anterior la actividad propuesta se encuentra dentro del conjunto de actividades de la asignatura “Ciencia y Tecnología de Materiales en Ingeniería Civil”. Las competencias relativas a la asignatura son las siguientes (Guía del alumno, 2013):

- CRC2: Conocimiento teórico y práctico de las propiedades químicas, físicas, mecánicas y tecnológicas de los materiales más utilizados en construcción.
- CRC3: Capacidad para aplicar los conocimientos de materiales de construcción en sistemas estructurales. Conocimiento de la relación entre la estructura de los materiales y las propiedades mecánicas que de ella se derivan.
- FB3: Conocimientos básicos sobre el uso y programación de los ordenadores, sistemas operativos, bases de datos y programas informáticos con aplicación en ingeniería.
- G03: Una correcta comunicación oral y escrita.

Atendiendo a la nomenclatura de las competencias establecida por la Universidad de Castilla-La Mancha, las competencias nombradas como CRC son “Competencias Comunes a la Rama Civil”, las competencias tipo FB son “Competencias de Formación

Básica” y por último, las denominadas con la letra G seguida de un número son “Competencias Generales”.

Los objetivos planteados para la asignatura son los siguientes (Guía del alumno, 2013):

- Conocer los materiales de interés en Ingeniería Civil. En particular, la interrelación entre la estructura interna del material, sus propiedades macroscópicas y las formas estructurales que se derivan de ellas. Igualmente, conocer las aplicaciones, formas de trabajo y puesta en obra de los principales materiales de interés en Ingeniería Civil. Seleccionar y diseñar materiales adecuados para cada aplicación y forma estructural en Ingeniería Civil.
- Reconocer las variables mecánicas relevantes en cada problema, aprender a medirlas, calibrar el error en la medida y en los resultados de sus cálculos.
- Determinar experimentalmente las propiedades mecánicas de los materiales de interés en Ingeniería Civil.

Para su organización, esta asignatura se ha dividido en cuatro grandes bloques temáticos que se componen de un total de veintidós temas. Los cuatro bloques en que se divide la asignatura son:

- **Bloque I.** Introducción: los materiales en la Ingeniería Civil.
- **Bloque II.** Fundamentos de la Ciencia de Materiales.
- **Bloque III.** Conocimiento de los materiales.
- **Bloque IV.** Comportamiento mecánico de los materiales.

La actividad propuesta está planteada para trabajar en particular las competencias CRC2, CRC3 y G03 descritas anteriormente, y aborda parte de los contenidos del cuatro bloque (<http://www.caminosciudadreal.uclm.es>). La actividad se desarrolla después de haber explicado en clase la teoría correspondiente al comportamiento elástico de los materiales, y después de que se hayan repasado conceptos básicos que los alumnos deben conocer previamente, como la tensión de tracción y la tensión de compresión.

## Metodología clásica para el estudio de la elasticidad

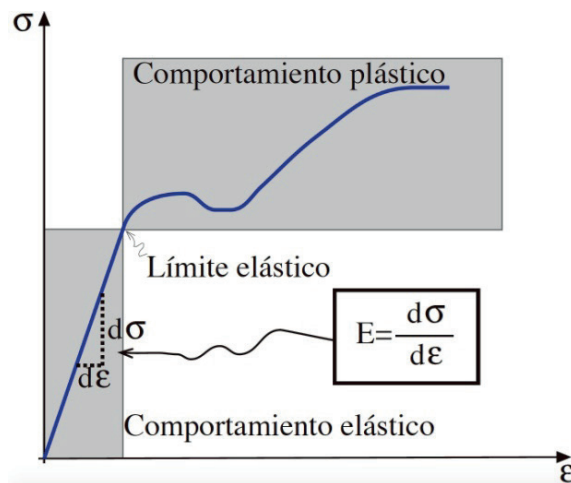
En este apartado se describe la forma clásica de explicar a los alumnos de grado en Ingeniería Civil el concepto de módulo de elasticidad. Esto permitirá poner de relieve el carácter innovador de la experiencia docente que se describe en este documento a la hora de facilitar que los alumnos comprendan el comportamiento y propiedades de los materiales.

El módulo de elasticidad es un concepto fundamental que se explica en los últimos cursos de Bachillerato y en el primer curso de cualquier ingeniería. Generalmente se explica de forma teórica, haciendo uso de la pizarra tradicional. A continuación se hace un



repaso de este concepto, de forma análoga a como se estudia siguiendo la metodología clásica de explicación del mismo.

El módulo de elasticidad, también conocido como Módulo de Young, se trata de un parámetro que caracteriza el comportamiento elástico de un material según la dirección en la que se aplica una fuerza. Para un material elástico-lineal sometido a tracción, el Módulo de Elasticidad, representado por el símbolo  $E$ , se define como el cociente entre la tensión ( $\sigma$ ) y la deformación ( $\epsilon$ ) que aparecen en una barra recta traccionada o comprimida fabricada con el material del que se quiere estimar el módulo de elasticidad. Esta relación se conoce como Ley de Hooke ( $\sigma=E \times \epsilon$ ). De forma gráfica esta relación es la que se representa en la Figura 2. En esta figura se presenta la deformación en el eje de abscisas y la tensión en el eje de ordenadas. Cuando el comportamiento del material es lineal, como en el de la figura, la pendiente de la recta se corresponde con el módulo de elasticidad o módulo de Young característico del material. Para un material elástico, lineal e isótropo, el módulo de Young tiene el mismo valor para una tracción que para una compresión, siendo una constante independiente del esfuerzo siempre que no exceda de un valor máximo denominado límite elástico, y es siempre mayor que cero: si se tracciona una barra, aumenta de longitud (Ortiz,1998; Ashby y Jones, 2008).



Fuente: Elaboración propia

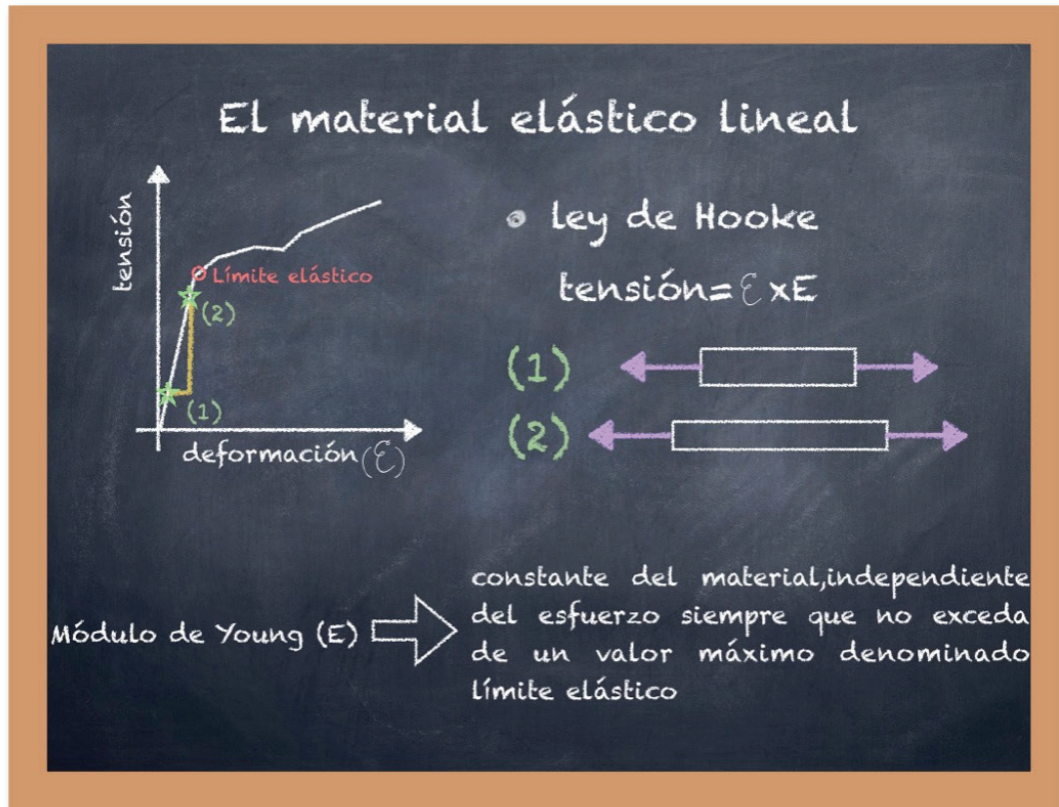
**Figura 2.** Definición gráfica del concepto de módulo de elasticidad. Curva Tensión ( $\sigma$ ) – Deformación ( $\epsilon$ ), para un material sometido a una carga de tracción.

Así pues, si conocemos el módulo de elasticidad de un material, podemos calcular cuánto se deformará cuando esté sometido a una determinada tensión. Por ejemplo, podremos predecir cuánto se alargará (“estirará”) un material del que sabemos su módulo de elasticidad, si conocemos la tensión de tracción que le estamos aplicando.

Para materiales lineales no elásticos se hacen distintas aproximaciones a este módulo, pero la explicación de las mismas se sale del objetivo de este artículo.

Tradicionalmente se procede a la explicación de este concepto, tal y como se ha procedido en este artículo, mediante lección magistral y se acompañaba de la realización

de ejercicios específicos sobre el tema. Esto implicaba muy pocos medios: pizarra, papel y lápiz, calculadora... En la Figura 3 se ha esquematizado una pizarra tradicional similar a la que se emplea de forma tradicional para explicar el concepto de elasticidad y material elástico.



Fuente: Elaboración propia

Figura 3. Esquema de la pizarra empleada para explicar el concepto de material elástico lineal de forma tradicional.

## Descripción de la actividad propuesta

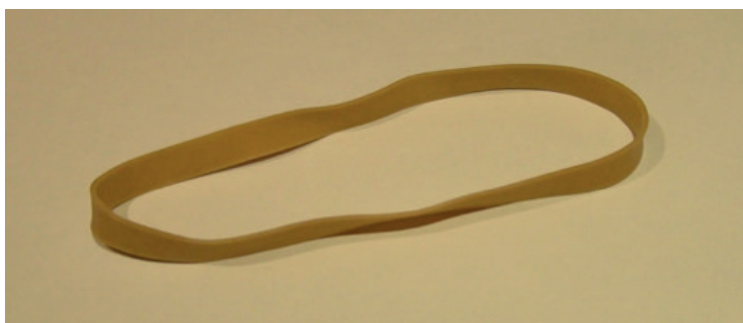
Se trata de una actividad que, por su forma de trabajo y por la generación del conocimiento que proporciona a los alumnos se puede enmarcar dentro de la metodología de aprendizaje activo conocida como Aprendizaje Cooperativo (AC). Entendiendo éste como un término genérico usado para referirse a un grupo de procedimientos de enseñanza que parten de la organización de la clase en pequeños grupos mixtos y heterogéneos donde los alumnos trabajan conjuntamente y de forma coordinada entre sí para resolver tareas académicas y profundizar en su propio aprendizaje (Rué, 1994). La enseñanza de la física no se puede concebir sin el apoyo del experimento que corrobore los resultados teóricos (Carreras, 2003), además, en el ciclo del aprendizaje propuesto por Karplus, las actividades de experimentación por parte de los alumnos ocupan el primer lugar para maximizar la efectividad del aprendizaje (Karplus, 1969; Karplus y Butts, 1977; Hewitt, 2004).



Para el desarrollo de la actividad se divide a los alumnos de la asignatura en grupos de tres. A cada uno de estos grupos se le entrega una goma como la mostrada en la imagen de la Figura 4, para que, con los métodos que tengan a su alcance, obtengan el módulo de elasticidad de la goma. Es decir, la experimentación se llevará a cabo con equipos diseñados y fabricados por el mismo estudiante.

A los alumnos se les facilita a través de la plataforma virtual “Moodle” de la asignatura una hoja explicativa de la tarea, como la mostrada en la Figura 5. La actividad se plantea de forma voluntaria y su evaluación se sumará a la de otras actividades voluntarias a realizar durante el curso, como por ejemplo, la entrega de ejercicios.

Los alumnos deben entregar un informe con los resultados alcanzados, en el que se les pide que incluyan una fotografía del procedimiento de ensayo, así como una breve descripción y una justificación del mismo, así como los resultados alcanzados. En la evaluación de la actividad se valorará la originalidad en las técnicas empleadas, así como la precisión y los resultados obtenidos.



*Fuente: Elaboración propia*

**Figura 4.** Goma entregada a los alumnos para evaluar su módulo de elasticidad.

La entrega del informe se realizará por medio de la plataforma Moodle, dónde se habilita una tarea (espacio virtual para colgar las entregas), de tiempo limitado y previamente pactado con los alumnos en función de su carga de trabajo, en la que los alumnos subirán un único archivo por grupo con las indicaciones anteriormente dadas. Los alumnos disponen de gran flexibilidad, tanto en el horario como en el medio (presencial o por e-mail), para asistir a tutorías y plantear cualquier cuestión o problema que encuentren en el desarrollo de la actividad.

# Medida del módulo de elasticidad de una goma

## Objetivo

A partir de lo estudiado en clase relativo al comportamiento mecánico de los materiales sometidos a tensión, en particular al comportamiento elástico bajo cargas de tracción. Se pide:

1. Evaluar el comportamiento de una goma como la de la figura adjunta.
2. Medir el Módulo de Elasticidad o Módulo de Young de la goma.

## Materiales

Para la realización de la práctica se os va a hacer entrega de una goma como la de la figura adjunta, el resto de materiales que necesitéis para resolver la práctica será a vuestro criterio.

## Procedimientos

1. Se trata de una actividad voluntaria cuya calificación (de 0 a 100 puntos) hará media con el resto de calificaciones de entrega de ejercicios voluntarios.
2. Para realizar la tarea debéis formar grupos de 3 alumnos. Una vez formado el grupo apuntaos en Moodle en la lista de grupos.
3. La tarea se entregará a través de Moodle en el espacio habilitado, antes de las 24:00 horas del próximo 18 de noviembre. A partir de este momento quedará cerrado el espacio para subir las tareas.
4. Está permitido usar cualquier técnica para evaluar el material.
5. Se debe entregar una hoja con los resultados, en la cual se deben incluir una fotografía del procedimiento de ensayo, y una breve explicación del mismo.

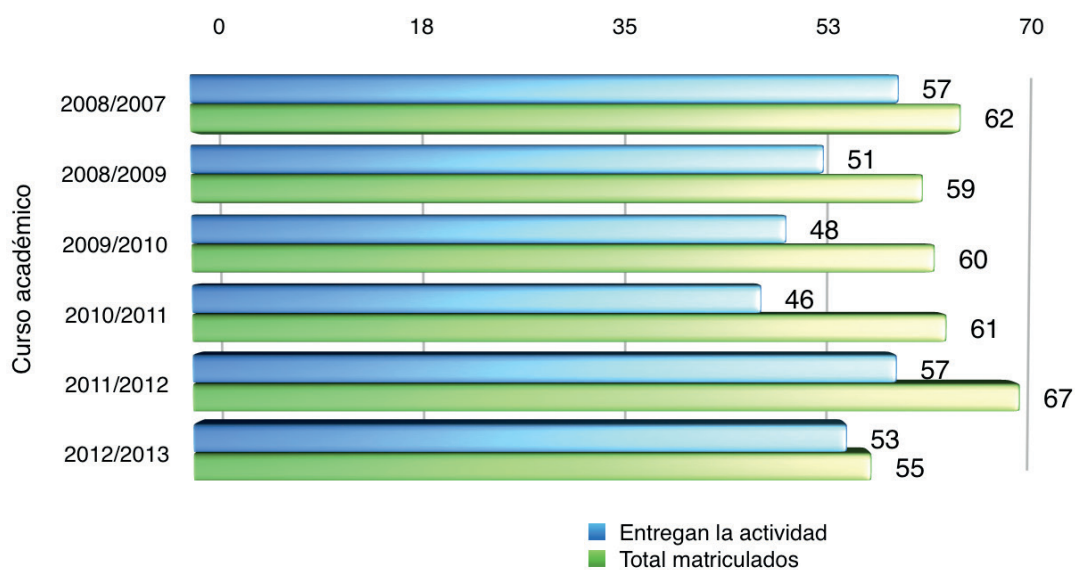


Figura: Fotografía de la goma para evaluar su módulo de elasticidad.

## Desarrollo y valoración de la actividad

En primer lugar para valorar la actividad se procede a analizar la **participación** del alumnado en la misma. Este aspecto se puede conocer fácilmente a través de la plataforma virtual “Moodle”. Llama la atención que aún tratándose de una actividad voluntaria, que se propone para reforzar conocimientos, tiene gran acogida por parte del alumnado, ya que casi el total de los alumnos matriculados participa en ella, como se puede ver en el gráfico de la Figura 6, donde se muestra la relación para los últimos 6 años de la asignatura entre los alumnos matriculados y los alumnos que entregan esta tarea voluntaria. Durante los 6 años en los que se ha desarrollado esta actividad la participación ha sido siempre superior al 75% de los alumnos matriculados. Además, cabe hacer constar que los alumnos que repiten la asignatura no hacen prácticas ni entregas, pues generalmente se acogen a la evaluación mediante una prueba final, por lo que los porcentajes son incluso mayores si se consideran sólo los alumnos de nueva matrícula. Se puede calificar por tanto la participación en esta actividad como muy satisfactoria.

Este éxito de participación se debe a dos aspectos. El primero es que la propuesta en sí motiva al alumnado, puesto que al no haber un guión específico, ni una metodología a seguir, ellos deben emplear su ingenio para calcular el módulo de elasticidad. La forma de proceder implica además a todos los participantes del grupo, pues se deja un tiempo en clase para que por grupos hagan un “brainstorming” o lluvia de ideas sobre posibles alternativas para afrontar la tarea que se les propone. Este tiempo en clase está muy valorado por los alumnos, les motiva a seguir adelante puesto que parte de una implicación general y produce curiosidad para llegar a una solución acertada. Además tienen la asistencia del profesor para resolver dudas y encaminar la actividad, planificarla en el tiempo y valorar la viabilidad y disponibilidad de los medios que necesitan, así como detectar posibles errores en el procedimiento.



Fuente: Elaboración propia

Figura 6. Participación de los alumnos en la actividad propuesta.

El segundo de los aspectos por el cual la actividad tiene tan buena respuesta entre los alumnos es por el buen nivel de los estudiantes matriculados en el Grado de Ingeniería Civil, como ya se indicó al principio de este documento. El perfil del alumno que accede a la titulación es el de un alumno que ha obtenido durante sus estudios de Enseñanza Obligatoria y Bachillerato muy buenas calificaciones, por lo que la tendencia inicial de estos alumnos es la de continuar con las buenas calificaciones. En general, en el primer cuatrimestre del primer curso de cualquier titulación universitaria, los alumnos acusan el cambio a la metodología universitaria, además de cambios personales como por ejemplo el cambio de lugar de residencia, la separación de su círculo de amigos así como de sus familias, la entrada en la mayoría de edad..., por lo que, los alumnos que acostumbraban a obtener buenas calificaciones se aferran a las oportunidades que se les presentan para mejorar sus expedientes académicos.

En cuanto a la valoración de la adquisición de conocimientos por parte de los alumnos, esta se puede considerar muy satisfactoria. Para justificar esta afirmación se describen dos observaciones ocurridas durante las clases teórico-prácticas de la asignatura.

La primera de estas observaciones tiene lugar al inicio del tema “Comportamiento bajo tensión”, cuando se les plantea a los alumnos en la pizarra un esquema típico de carga a tracción, con el principio de acción y reacción de Newton, Figura 7, los alumnos deben calcular la tensión como el cociente entre la carga aplicada y el área sobre la que actúa. A este respecto, los alumnos suelen confundir la carga aplicada con la carga que surge por el citado principio de acción y reacción, e incluso confunden cuál es el área sobre la que actúa dicha fuerza. Sin embargo, cuando son ellos mismos los que se deben buscar los medios para aplicar la carga pueden discernir claramente cuál es el área que resiste, cuánto vale la carga aplicada, e incluso mejoran en otros aspectos como en el manejo del cambio de unidades o conceptos más avanzados como por ejemplo la formación del fenómeno físico denominado “cuello de estrangulación” (disminución de la sección transversal en la zona central de la probeta a causa de una fuerza de tracción).



*Fuente: Elaboración propia*

**Figura 7.** Aplicación de una carga de tracción sobre probeta cilíndrica.

La segunda observación no es sino la comprobación tangible de la primera, en este sentido se ha observado que al comparar los resultados de los problemas realizados por los alumnos sobre cálculo de tensiones y deformaciones, hay un mayor número de problemas bien resueltos tras la realización de la tarea que previa a la misma. Los alumnos comprenden mejor los conceptos de elasticidad, de tensiones, de deformaciones y de aplicación de una carga de tracción una vez desarrollado su propio experimento con la goma.

Por otra parte, en cuanto a la valoración del grado de consecución de las competencias de la asignatura que se trabajan en esta actividad, se podría indicar que la práctica totalidad de los alumnos que desarrollan la tarea llegan a alcanzar dichas competencias. En particular se alcanza satisfactoriamente la competencia CRC2, donde el alumno debe adquirir un conocimiento teórico y práctico de las propiedades físicas y mecánicas de los materiales más utilizados en construcción, ya que pueden comprender el comportamiento de un elemento elástico de forma tangible. Y puesto que los alumnos presentan un informe de resultados y participan de forma activa en un grupo, mejoran notablemente su comunicación oral y escrita, desarrollando así la competencia G03. En cuanto a la competencia CRC3, esta se alcanza parcialmente ya que los alumnos desarrollan su capacidad para aplicar los conocimientos sobre materiales de construcción a unos casos limitados de sistemas estructurales, en particular a un elemento sometido exclusivamente a carga axial.

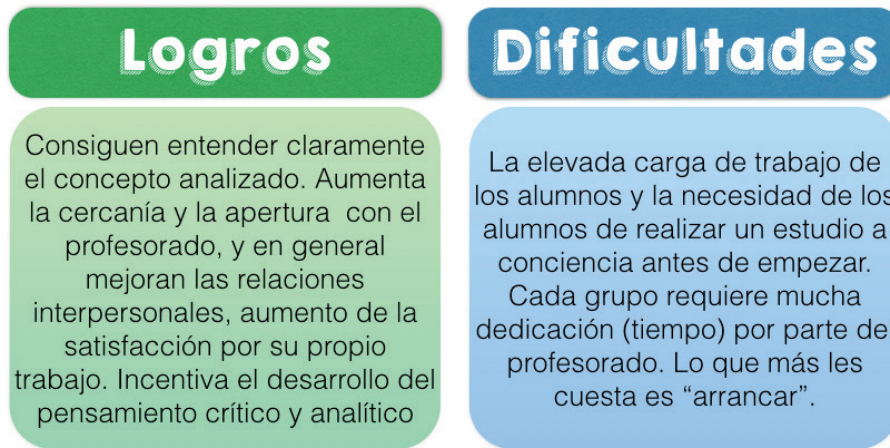
A continuación se procede a valorar la actividad analizando la relación de la misma con el currículum del resto de asignaturas del grado. El “material” constituye el elemento con el que el ingeniero proyecta y construye sus obras, así como el medio sobre el que emplaza su construcción. El conocimiento de los materiales a lo largo de la historia ha condicionado la forma y la tipología de las estructuras, así como sus dimensiones. Por lo tanto es fundamental para el futuro Ingeniero Civil que conozca los materiales y entienda los distintos tipos de comportamiento que puede presentar. Se puede afirmar sin lugar a dudas, que la realización de actividades encaminadas a estudiar, comprender y asimilar el comportamiento de los materiales ayuda a desarrollar en el alumno un criterio ingenieril que resultará fundamental para el ejercicio de su profesión.

Por último se presenta la valoración respecto a las calificaciones obtenidas por los alumnos. En este caso, la evaluación es, de nuevo, totalmente satisfactoria, ya que el porcentaje de aprobados en esta actividad se sitúa próximo al 100%, puesto que se consigue la implicación de todos los participantes y el grado de control y de exigencia es mutua (entre compañeros y de alumno a profesor), desarrollándose de este modo el concepto de interdependencia positiva (Johnson y Johnson, 2002).

Además el aprendizaje cooperativo posee beneficios que fueron observados en distintos estudios (Millis, 1996) y se ha podido corroborar en esta tarea. Estos beneficios son: aumento del aprendizaje (autoaprendizaje), aumento de la motivación por el trabajo, aumento de la cercanía y la apertura, mejora de las relaciones interpersonales, aumento de la satisfacción por su propio trabajo y además se genera un lenguaje común de trabajo entre compañeros. En el ámbito personal aumenta el desarrollo de habilidades sociales y de sentimientos de autosuficiencia, disminuyen los sentimientos de aislamiento, el temor a la crítica, a la observación e incentiva el desarrollo del pensamiento crítico/analítico.

Analizada la actividad se procede a valorar los logros y dificultades acaecidos durante su desarrollo. Teniendo como valoraciones o evidencias las mencionadas anteriormente: el trabajo en equipo, la asignación de roles, la asimilación de conocimientos, mejora de las relaciones interpersonales, aumento de la satisfacción por su propio trabajo. Dicha valoración se presenta en la Figura 8.





Fuente: Elaboración propia a partir de los trabajos de los alumnos

Figura 8. Logros y dificultades acaecidos durante el desarrollo de la actividad.

## Diferentes alternativas para resolver la actividad propuestas por los alumnos

En este apartado se presentan algunas de las metodologías más interesantes desarrolladas por diferentes grupos para solucionar la actividad propuesta. En las siguientes imágenes se puede ver el ingenio de los alumnos, las diferentes metodologías que surgen para solucionar un mismo problema, así como la capacidad de razonar de los alumnos.

En la primera de las propuestas que se muestran, Figura 9, los alumnos aplican incrementos de masas y miden su deformación (movimiento vertical) para obtener varios puntos de la curva tensión-deformación. No obstante, y como así se indicó a los alumnos, el sistema de sujeción de la goma produce una deformación inicial en la misma que es susceptible de introducir un error en la medida, debido a que el diámetro del elemento de apoyo (palo) es demasiado grande para las características de este experimento.



Fuente: Elaboración propia a partir de los trabajos de los alumnos

Figura 9. Metodología de medida presentada por uno de los grupos. Toma de medidas para diferentes estados de carga.



En la segunda de las propuestas mostradas, Figura 10, los alumnos han corregido el error de la primera cortando la goma para su colocación, sujetándola al palo con un nudo y con una anilla colocada al final de la misma, para minimizar los errores respecto del dispositivo de la figura anterior. Si bien es cierto que en esta configuración los alumnos contaron con el peso del aceite marcado en la etiqueta, y no contaron con el peso de la botella en su conjunto.



Fuente: Elaboración propia a partir de los trabajos de los alumnos

**Figura 10.** Metodología presentada uno de los grupos: estado de la goma bajo una carga de tracción y toma de medidas.

En la siguiente propuestas mostrada, Figura 11, a pesar de que el dispositivo pudiera parecer más rudimentario, el hecho de marcar una zona central de medida minimiza el error en el ensayo, puesto que alejan la zona de medida de las zonas extremas, que es dónde se puede encontrar mayor dispersión de los resultados debido a los puntos de “anclajes” de la goma y de la carga en suspensión, como sucedía en los ejemplo anteriores.



Fuente: Elaboración propia a partir de los trabajos de los alumnos

**Figura 11.** Metodología de medida presentada por uno de los grupos. Delimitación de la zona de medida y aplicación de la carga.

En la última propuesta mostrada, Figura 12, los alumnos han utilizado un dispositivo de medida de gran precisión, colocando un medidor de la carga (dinamómetro), tirando directamente de él para aplicar la carga y un cáncamo a modo de anclaje de la goma lo suficientemente pequeño como para evitar deformaciones impuestas.



*Fuente: Elaboración propia a partir de los trabajos de los alumnos*

**Figura 12.** Metodología de medida presentada por uno de los grupos. Medida de la carga aplicada y de la deformación.

Con estos cuatro ejemplos mostrados vemos como se trata de un ejercicio para el cual no hay una única solución, pues distintos dispositivos pueden dar una idea aproximada del parámetro que estamos buscando. Si bien es cierto, que dispositivos muy sofisticados (como en el caso en el que emplean un dinamómetro) ayudan a conseguir un valor más preciso que en aquellos en los que la carga se aplica con masas que no han sido correctamente pesadas.

## Conclusiones

En este apartado se presentan las principales conclusiones obtenidas a raíz de la puesta en marcha de la actividad.

Se trata de una actividad basada en la metodología activa del aprendizaje cooperativo, en la que los alumnos organizados en grupos de 3 alumnos deben calcular el módulo de elasticidad de un determinado material, en particular una goma que previamente ha sido entregada por el profesor a cada uno de los grupos.

Con anterioridad a esta actividad los alumnos han estudiado la teoría necesaria para afrontar dicho experimento en las clases teórico-prácticas, pero no se les ha dado ninguna indicación sobre cómo desarrollar esta actividad en particular, así pues, deberán dilucidar una metodología de ensayo propia que les lleve hasta la solución del problema.

Tras 6 años realizando esta actividad la valoración general de la misma ha sido muy positiva. De esta valoración cabe destacar:

- La participación del alumnado se considera muy elevada (ningún año por debajo del 75% de los matriculados), aspecto que se evalúa muy positivamente, máxime, tratándose de una tarea de carácter voluntario.
- Motiva al alumnado.
- Favorece la consecución de determinadas competencias genéricas y específicas de la asignatura como el desarrollo del sentido crítico y de análisis en el alumno, así como los conocimientos sobre las propiedades de los materiales, en particular en el rango elástico, y su capacidad para aplicarlos a sistemas estructurales (aplicaciones de las cargas).

A su vez también permite trabajar diferentes competencias transversales como el trabajo en equipo, la comunicación oral y escrita y el manejo de aplicaciones informáticas, en este caso de la plataforma Moodle.

- Se trata de una actividad de gran trascendencia en el desarrollo del curriculum del estudiante de Ingeniería Civil, pues el conocimiento de los materiales y su comportamiento es fundamental para el diseño de las estructuras, entre otras actividades desempeñadas por el ingeniero en su actividad profesional.
- En cuanto al punto de vista de los alumnos, estos demuestran su implicación y motivación en el desarrollo de la actividad, poniendo su ingenio y creatividad al desarrollarla. Así como se puede apreciar en la asistencia a tutoría para solventar dudas, o para cerciorar el método elegido. Además la alta tasa de participación obtenida cada año pone en evidencia el interés de los alumnos por la misma.
- En cuanto a la posible extrapolación de esta actividad a otras asignaturas, se ha observado que no es una estrategia adecuada para trabajar con grupos grandes, y además, es necesario contar con alumnos activos y participativos. También es necesario el desarrollo de unas tutorías flexibles y facilitar una buena comunicación con el profesor.
- Por último cabe mencionar los beneficios extensibles a las actividades de aprendizaje cooperativo propiamente dicho, que son: aumento del autoaprendizaje, aumento de la motivación por el trabajo, mejora de las relaciones interpersonales y aumento de la satisfacción por su propio trabajo, entre otros.
- El grado de satisfacción con el desarrollo de la actividad es muy elevado tanto para el alumnado como para el profesorado.

## Agradecimientos

Los autores de este artículo desean agradecer la participación e implicación de los alumnos de esta asignatura.

## Referencias Bibliográficas

- Arias-Trujillo, J. y Porras, R. (2013). Los seminarios de problemas como estrategia docente en las enseñanzas técnicas: Una experiencia aplicada a la Ingeniería del Terreno. *REDU. Revista de Docencia Universitaria*, 11 (Número especial dedicado a Engineering Education), 47-64. <http://dx.doi.org/10.4995/redu.2013.5547>
- Ashby M.F. y Jones D.R. (2008). *Materiales para la Ingeniería 1. Introducción a las propiedades, las aplicaciones y el diseño*. Barcelona: Reverté.
- Carreras, C. (2003). *La física y la química: del descubrimiento a la intervención*. Ministerio de Educación, Cultura y Deporte.
- Guía del Alumno para la titulación de Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. (2013/2014). E.T.S.I Caminos, Canales y Puertos de Ciudad Real. Universidad de Castilla-La Mancha.
- Hewitt, P. (2004). The three stages of learning. *Physics World*, 17(9), 16-17. <http://dx.doi.org/10.1088/2058-7058/17/9/24>
- Johnson, D.W. y Johnson, R.T. (1991). *Learning Together and Alone: Cooperative, Competitive, and Individualistic Learning*. Englewood Cliffs, NJ, US: Prentice-Hall.
- Johnson, D. W. y Johnson, R. T. (2002). Cooperative learning and social interdependence theory. In *Theory and research on small groups* (pp. 9-35). Springer US. [http://dx.doi.org/10.1007/0-306-47144-2\\_2](http://dx.doi.org/10.1007/0-306-47144-2_2)
- Kagan, S. y Kagan, M. (1994). The structural approach: Six keys to cooperative learning. *Handbook of cooperative learning methods*, 115, 33.
- Karplus R. (1969) *Introductory Physics: A Model Approach*. Nueva York: Benjamin.
- Karplus, R. y Butts, D. P. (1977). Science teaching and the development of reasoning. *J. Res. Sci. Teach.*, 14, 169–175. <http://dx.doi.org/10.1002/tea.3660140212>
- López-Querol, S., Sánchez-Cambronero, S., Rivas, A. y Garmendia, M. (2014). Improving Civil Engineering Education: Transportation Geotechnics Taught through Project-Based Learning Methodologies. *Journal of Professional Issues in Engineering Education & Practice*, 141(1), 04014007. [http://dx.doi.org/10.1061/\(ASCE\)EI.1943-5541.0000212](http://dx.doi.org/10.1061/(ASCE)EI.1943-5541.0000212)
- Menéndez, J.M. (2003). Aprendizaje por proyectos: la experiencia en la Universidad de Castilla-La Mancha. *Actas del I Encuentro Internacional de Enseñanza de la Ingeniería Civil*. Universidad de Castilla-La Mancha. CD-Rom. Ciudad Real: Universidad de Castilla la Mancha.
- Millis, B. J. (1996). *Cooperative learning*. The University of Tennessee at Chattanooga Instructional Excellence Retreat.
- Ortiz, L. (1998). *Elasticidad*. E.T.S.I. Industriales. Universidad Politécnica de Madrid.
- Prieto, L. (2007). *El aprendizaje cooperativo*. Madrid: PPC.
- Rué, J. (1994). *El trabajo cooperativo. Guía para la organización y funcionamiento de los centros educativos*. Barcelona: Praxis.
- Torroja, E. (1984). *Razón y ser*. Consejo Superior de Investigaciones Científicas Instituto “Eduardo Torroja”. Madrid.

Ureña, J.M. (1998). Proyecto de nueva Escuela de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos en Ciudad Real. *Revista de Obras Públicas*, 145 (3380), 11-20.

Artículo concluido el 21 de febrero de 2014

Porras, R. y Arias-Trujillo, J. (2014). El aprendizaje cooperativo como metodología para estudiar las propiedades mecánicas de los materiales en la Ingeniería Civil. *REDU. Revista de Docencia Universitaria*, 14(2), 37-55

<http://dx.doi.org/10.4995/redu.2016.5677>

## **Rocío Porras Soriano**

**Universidad de Castilla-La Mancha**

*Departamento de Mecánica Aplicada e Ingeniería de Proyectos*

*rocio.porras@uclm.es*

Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos (2000-2005) y Doctora (2011) por la Universidad de Castilla-La Mancha. Profesora Ayudante en la E.T.S Ingenieros de caminos, Canales y Puertos de Ciudad Real (UCLM) desde noviembre de 2007 hasta la actualidad. Pertenece al Departamento de Mecánica Aplicada e Ingeniería de Proyectos, área de Mecánica de los materiales. Es miembro del Grupo de Mecánica de Sólidos de la E.T.S Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos, de la UCLM. Desarrolla su investigación principalmente en el área de la mecánica de la fractura, fundamentalmente aplicada al hormigón estructural, estudiado tanto de forma experimental como mediante aproximación numérica. Actualmente inmersa en el estudio de las nuevas metodologías docentes adaptadas al EEES, en relación con esto cuenta con diferentes publicaciones nacionales sobre la implantación de varias experiencias docentes en el ámbito universitario, así como ha recido varios cursos de formación en Docencia Universitaria, que suman más de 300 horas.

## **Juana Arias-Trujillo**

**Universidad de Extremadura**

*Departamento de Construcción*

*jariastr@unex.es*

Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos por la Universidad de Castilla-La Mancha. Ha sido becaria de investigación FPI por el Ministerio de Educación y Ciencia. Ha impartido docencia en diferentes asignaturas de las titulaciones de Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos y Grado en Ingeniería Civil desde el curso académico 2007-2008. Su investigación se centra fundamentalmente en las áreas de Ingeniería de la Construcción, Ingeniería del Terreno, Ingeniería Sísmica y Dinámica de Suelos y Estructuras, principalmente a través del desarrollo de modelos en elementos finitos y de diferentes algoritmos y técnicas de resolución numéricas. Autora de publicaciones de carácter nacional e internacional relacionadas con las temáticas anteriores, así como de innovación docente.