



## “Disfruta construyendo y aprendiendo sobre puentes”, una experiencia activa para despertar vocaciones ingenieriles

### *“Enjoy building and learning about bridges”, an active experience to rise engineering vocations*

Ignacio Payá-Zaforteza<sup>a</sup> y Ester García-Castillo<sup>b</sup>

<sup>a</sup>Universitat Politècnica de València, Departamento de Ingeniería de la Construcción - ICITECH, [igpaza@upv.es](mailto:igpaza@upv.es), ORCID 0000-0002-3995-8772

<sup>b</sup>Universitat Politècnica de València, ICITECH, [esgarcas@upv.es](mailto:esgarcas@upv.es), ORCID 0000-0003-4665-730X.

**How to cite:** Ignacio Payá-Zaforteza y Ester García-Castillo. “Disfruta construyendo y aprendiendo sobre puentes”, una experiencia activa para despertar vocaciones ingenieriles. En libro de actas: *VIII Congreso de Innovación Educativa y Docencia en Red*. Valencia, 6 - 8 de julio de 2022. <https://doi.org/10.4995/INRED2022.2022.15922>

---

### **Abstract**

*The evolution of society requires a significant number of professionals with technical training, which encourages technological universities to develop programs to awaken vocations. This paper presents a workshop developed at the Universitat Politècnica de València with the aim of bringing civil and structural engineering closer to secondary school students so that they see these disciplines as something attractive and creative. For this purpose, a competition in which teams of students build small-scale bridges with a limited amount of spaghetti and load them to failure, with the winner being the team whose bridge can withstand the highest load with the least amount of spaghetti, is organised. The paper provides the details of the experience and qualitative evidence of its success. The experience is cheap and simple to conduct, so it can be easily extrapolated to other educational environments.*

**Keywords:** *civil engineering, bridge, creativity, active learning, STEAM, CiènciaLab, spaghetti construction.*

---

### **Resumen**

*La evolución de la sociedad requiere de un importante número de profesionales con formación técnica, lo que impulsa que las universidades tecnológicas desarrollen programas para despertar vocaciones. Este artículo presenta un taller desarrollado en la Universitat Politècnica de València con la finalidad de acercar la ingeniería civil y estructural a los estudiantes de secundaria y que vean estas disciplinas como algo atractivo y creativo. Para ello, se organiza un concurso en el que equipos de estudiantes construyen puentes a escala reducida con una cantidad limitada de espaguetis y los llevan hasta la rotura, ganando el equipo cuyo puente aguante la mayor carga con la menor cantidad posible de espaguetis. El artículo proporciona los detalles de la experiencia y evidencias cualitativas de su éxito. La experiencia es económica y sencilla de realizar, por lo que es fácilmente extrapolable a otros entornos educativos.*

*“Disfruta construyendo y aprendiendo sobre puentes”, una experiencia activa para despertar vocaciones ingenieriles*

*Palabras clave: ingeniería civil, puentes, creatividad, aprendizaje activo, STEAM, CiènciaLab, construcción con espaguetis.*

## 1. Introducción

La población actual del planeta es de 7700 millones de personas esperándose que alcance los 8500 millones en el año 2030 y los 9700 millones en el año 2050 (Naciones Unidas, 2019a). Según Naciones Unidas (United Nations, 2019b), un porcentaje muy importante de esta población vive o vivirá en las ciudades (un 55% en la actualidad y un 68% en el año 2050). Estos crecimientos van a motivar una importante actividad del sector de la construcción que tendrá que proporcionar las infraestructuras adecuadas de la forma más sostenible y eficiente posible, lo que requerirá profesionales adecuadamente formados. Además, el desarrollo tecnológico de la sociedad llevará aparejado una demanda significativa de profesionales de la ingeniería.

Consciente de estas necesidades, la Universitat Politècnica de València (UPV) ha creado el programa “CiènciaLab” con el objetivo de despertar vocaciones científicas entre la juventud (alumnos de secundaria) a través de la realización de talleres científicos, tecnológicos y artísticos impartidos por profesores de la UPV en las instalaciones de la universidad. Los talleres abarcan diferentes áreas temáticas como la conservación de pinturas, la mecatrónica, la criptografía, la programación, la robótica, la conservación de semillas o el proyecto y la construcción de puentes. Información adicional sobre los talleres ofertados y sus contenidos puede encontrarse en (UPV, 2022).

En este contexto general, este artículo resume las metodologías, los resultados y las lecciones aprendidas en un taller que lleva por título “Disfruta construyendo y aprendiendo sobre puentes” que lleva impartándose en la Escuela Técnica Superior de Ingeniería de Caminos, Canales y Puertos (ETSICCP) desde noviembre del año 2016. El número aproximado de grupos que han realizado el taller es de 40, por lo que el número de alumnos que lo han cursado es próximo a 800.

## 2. Objetivos

La *Institution of Civil Engineers* (ICE) del Reino Unido definió en el año 2007 la ingeniería civil del modo siguiente:

“La ingeniería civil es un arte vital que trabaja con las grandes fuerzas de la naturaleza para el beneficio y bienestar del conjunto de la sociedad. Su característica esencial es el empleo de la imaginación para diseñar productos y procesos y para formar a las personas necesarias para crear y mantener un entorno construido y natural sostenible. La ingeniería civil necesita una amplia comprensión de principios científicos, de los materiales y del arte del análisis y la síntesis. Precisa también de habilidades empresariales, de investigación, de trabajo en equipo y de liderazgo. Ingeniero civil es quien practica todo o parte de este arte”

El ámbito de actuación de los ingenieros civiles es, por tanto, la planificación, el proyecto, la construcción y el mantenimiento/rehabilitación de las infraestructuras que hacen posible la vida tal y como la conocemos: conducciones de abastecimiento y saneamiento, depuradoras, presas, carreteras, ferrocarriles, puertos y puentes entre otras. A pesar de su importancia, el trabajo de los ingenier@s civiles no siempre es conocido y valorado por la sociedad en su conjunto, lo que ha motivado numerosas acciones de promoción. Así, el ICE creó una exposición recientemente y con motivo de su segundo centenario con el título “Invisible Superheroes” para explicar la historia de los héroes detrás de algunos de los proyectos más increíbles del mundo. Esta exposición se puede visitar virtualmente en la actualidad (ICE, 2022). La jornada “Ingenieros

por un día” organizada por la ETSICCP de la UPV con ocasión de su 50 aniversario constituye otro ejemplo de actividades de divulgación. La jornada se desarrolló con gran éxito y llenó la plaza del Ayuntamiento de la ciudad de Valencia con actividades familiares relacionadas con la ingeniería civil.

En este contexto general, los objetivos de la actividad son:

- Visibilizar las aportaciones y la importancia de la ingeniería civil en el mundo actual.
- Desarrollar una visión sobre la importancia social, el comportamiento estructural y el potencial estético de los puentes.
- Proporcionar una visión de la ingeniería como algo creativo y atractivo.

Por tanto, el taller pretende ir más allá del concepto de actividad STEM (Science, Technology, Engineering and Math) y ser una actividad STEAM (Science, Technology, Engineering, Art and Math).

### 3. Desarrollo de la innovación

El taller tiene una duración total aproximada de 90 minutos con las etapas que se explican a continuación.

#### 3.1. Presentación general de la actividad.

Esta presentación tiene una duración aproximada de 15 minutos y en ella se plantean y responden las siguientes preguntas iniciales:

- 1) ¿Qué es un ingeniero civil o un ingeniero de caminos, canales y puertos? ¿Cuál es su campo de actividad? ¿Son importantes los ingenieros?
- 2) ¿Son importantes los puentes? Esta importancia se demuestra en la presentación empleando dos ejemplos:
  - El colapso de dos vanos del McArthur Maze en California (Estados Unidos) provocado por el vuelco de un camión cisterna que transportaba gasolina (Bulwa y Fimirite, 2007).
  - El peligro que enfrentan cada día los niños de una comunidad rural en Indonesia al cruzar un río para ir al colegio debido a la ausencia de una pasarela que permita un paso seguro (Atlas, 2012).
- 3) ¿Qué es la estructura de una construcción? ¿Cuáles son los sistemas estructurales empleados en los puentes? La respuesta a estas preguntas se elabora:
  - Basándose en la clasificación de sistemas estructurales propuesta por Schlaich (2006) que ilustra cómo casi todas las construcciones son una combinación de tres sistemas básicos: arcos, cables y vigas que trabajan a compresión, tracción y flexión respectivamente. La explicación se realiza con ejemplos de puentes reales y mostrando cómo varios de estos sistemas se combinan por ejemplo en el puente de “Verrazzano Narrows” de Nueva York (USA).
  - Empleando imágenes de ensayos realizados en las prácticas de laboratorio de la asignatura de “Edificación” de la ETSICCP en las que modelos de forjados de edificación se cargan hasta la rotura. Esto se hace para ilustrar también las metodologías de enseñanza-aprendizaje en la ETSICCP y despertar el interés de los participantes hacia las titulaciones impartidas en ella.
  - Utilizando el puente de Salginatobel para ilustrar cómo los puentes pueden ser: (a) buenos, bonitos y baratos -empleando la terminología popular- o (b) eficientes, estéticos y económicos -empleando la terminología de la filosofía del Arte Estructural desarrollada por el prof. D.P. Billington de la Princeton University (Billington, 1985)-.

*“Disfruta construyendo y aprendiendo sobre puentes”, una experiencia activa para despertar vocaciones ingenieriles*

La Fig. 1 muestra algunas imágenes significativas de la presentación. Tras ella, se explica a los participantes el reto que deben resolver: construir con espaguetis un modelo a escala reducida (1:100) de una pasarela similar a la que se necesitaría para resolver el problema planteado en (Atlas, 2012). Se indica a los participantes que, en consecuencia, las dimensiones aproximadas del tablero del modelo de puente son 24 cm de longitud y 4 cm de ancho.

Se indica además a los participantes que:

- 1) Tal y como sucede en los proyectos reales, los recursos materiales disponibles están limitados. En este caso, la cantidad máxima de espaguetis que pueden emplear es de 150 gramos. Esta limitación no existía en las primeras ediciones del taller, pero se introdujo al observar que algunos participantes proponían diseños robustos pero muy pesados y muy poco estéticos.
- 2) Todos los modelos se cargarán en su sección central de forma progresiva y hasta su rotura.
- 3) El reto es, en realidad, un concurso en el que ganará el diseño más eficiente. Por ello, ganará el concurso el puente que sea capaz de aguantar más carga con menos peso propio (mayor relación  $Q/G$  donde  $Q$  representa la carga aguantada por el modelo incluyendo su peso propio y  $G$  su peso propio).



*Fig. 1. Transparencias representativas de la presentación inicial: (a) Puente de Salginatobel, ejemplo de estructura económica, eficiente y elegante, (b) ensayo a flexión de un forjado en los laboratorios docentes de la UPV.*

### **3.2. Construcción y carga hasta rotura de los modelos.**

La construcción de los modelos de puentes se realiza por equipos de tres personas con espaguetis unidos con silicona aplicada mediante termoencoladora (véase la Fig. 2). Trabajar en grupo es importante para desarrollar habilidades transversales como el liderazgo o el trabajo en equipo.



Fig. 2. Construcción en equipo del tablero de un puente con termoencoladoras y silicona en barras.

Tras construir los modelos, los participantes los pesan para obtener su peso propio  $G$  (Fig. 3) y los cargan hasta la rotura (Fig. 4). La carga se realiza con pesas de diferentes tamaños que los participantes colocan de forma progresiva según su criterio. Es importante recalcar que se deja total libertad a los participantes para definir sus diseños, aunque, en ocasiones, se sugieren modificaciones para mejorar la respuesta estructural.



Fig. 3. Obtención del peso propio de un modelo de puente.

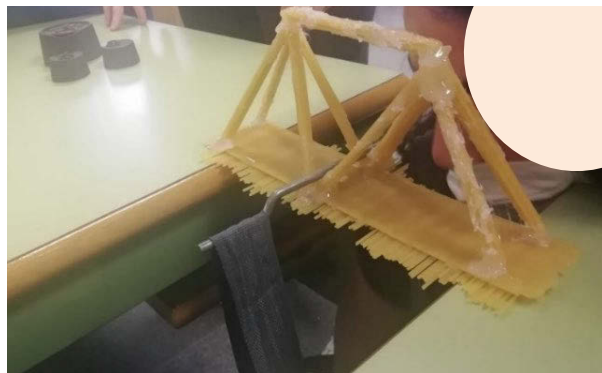


Fig. 4. Proceso de carga con pesas de diferentes magnitudes. Los participantes introducen las pesas de forma escalonada en una bolsa que cuelga mediante una varilla del centro del puente. Algunas pesas se pueden ver en la esquina superior izquierda de la imagen.

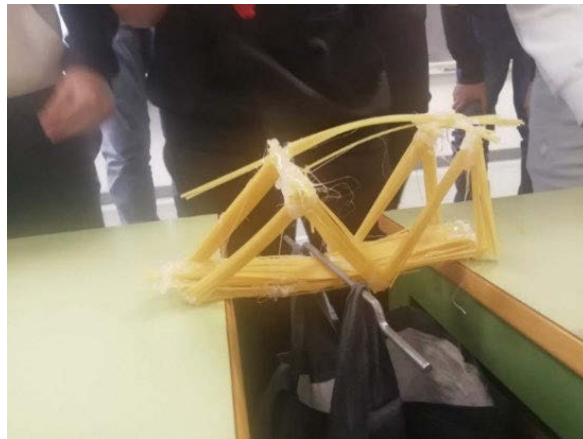
*“Disfruta construyendo y aprendiendo sobre puentes”, una experiencia activa para despertar vocaciones ingenieriles*

El tiempo aproximado empleado para la construcción de los modelos y su prueba de carga es de 55 y 20 minutos respectivamente. Los participantes realizan por sí mismos todo el proceso, lo que hace que estén muy implicados en el mismo. Además, las pruebas de carga permiten descubrir y experimentar comportamientos estructurales que se dan en los puentes y edificios reales. Algunos de estos comportamientos son:

- La diferencia entre compresión y tracción y las grandes deformaciones que pueden llegar a experimentar los elementos comprimidos como consecuencia del pandeo (Figs. 5 y 6).



*Fig. 5. Pandeo del montante izquierdo del puente debido a los esfuerzos de compresión. El montante derecho tiene un mayor espesor y los espaguetis están mejor solidarizados por lo que el pandeo no se produce.*



*Fig. 6. Pandeo del cordón superior comprimido de una viga en celosía.*

- La diferencia entre un fallo local y un fallo global, lo que permite definir el importante concepto de “robustez” o cómo las estructuras son capaces de redistribuir esfuerzos de modo que el fallo de un elemento no produzca el fallo de toda la estructura (Fig. 7).



Fig. 7. La rotura de algunos de los elementos del puente (fallos locales) no implica su colapso porque los esfuerzos se redistribuyen.

- La importancia de las diagonales en las estructuras en celosía para disminuir sus deformaciones e incrementar su resistencia (Fig. 8).

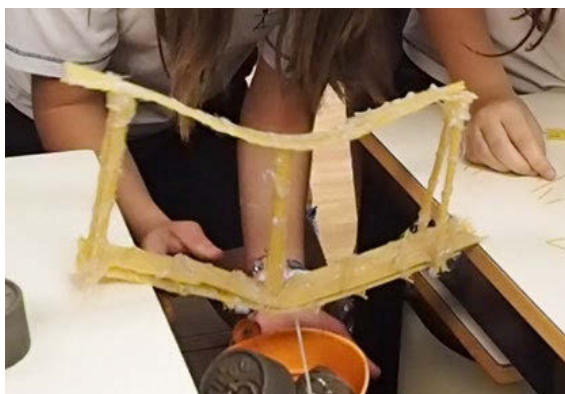


Fig. 8. Puente a punto de colapsar y con grandes deformaciones debido a la ausencia de diagonales.

- Las fuerzas horizontales que aparecen en los anclajes/apoyos de pasarelas de banda tesa y cómo esas fuerzas horizontales pueden ser resistidas (Fig. 9).



Fig. 9. Aplicación de una fuerza vertical en los apoyos para absorber por rozamiento la reacción horizontal en los apoyos.

*“Disfruta construyendo y aprendiendo sobre puentes”, una experiencia activa para despertar vocaciones ingenieriles*

- El concepto de elasticidad o cómo las estructuras pueden recuperar sus deformaciones al retirar la carga siempre que esa carga no haya sobrepasado un valor límite.

La Fig. 10 muestra uno de los diseños más eficientes construidos. Su peso propio fue de 145 gramos y soportó una carga de 8,3 kg, por lo que su relación  $Q/G$  fue de 57,24.



*Fig. 10. Proceso de carga de uno de los diseños más eficientes construidos.*

## 4. Resultados

Debido a las limitaciones de tiempo, no es posible pasar un cuestionario detallado a los participantes para determinar el impacto de la actividad. No obstante, la atención, el entusiasmo y las reacciones espontáneas de los participantes a lo largo del taller demuestran que es muy de su agrado. Esta actitud positiva es especialmente notable durante la carga de los puentes, que muchos alumnos filman con sus teléfonos móviles (Fig. 11). Esta percepción es confirmada por los resultados de la breve encuesta que el Área de Comunicación de la UPV pasa a los participantes. Así, de los 93 alumnos que participaron en la actividad durante el curso académico 2021-22, 74 (un 79,6%) la calificaron como muy buena, 11 (un 11,8%) como buena, 2 (un 2,2%) como regular y 6 (un 6,4%) la calificaron negativamente.



*Fig. 11. Participantes filmando la carga de los puentes.*



Otra prueba del éxito de la actividad es el hecho de que televisiones locales se hayan acercado a la UPV para filmar su desarrollo y entrevistar a los participantes (Fig. 12). Esto es especialmente notable, pues es habitual escuchar en los foros ingenieriles que es necesario acercar más la ingeniería a la sociedad, que ésta valore más el trabajo de los ingenieros, y que se tenga una visión más atractiva e incluso lúdica de lo que es la ingeniería.



Fig. 12. Una televisión local entrevista a uno de los participantes en el taller.

Finalmente, la experiencia también es muy positiva desde el punto de vista de los autores del artículo, pues es muy gratificante acercar la ingeniería estructural a alumnos de secundaria y realizar una modesta contribución al despertar de vocaciones técnicas.

En un futuro, si el tiempo disponible para realizar la actividad fuera mayor y los participantes tuvieran unos conocimientos mayores o una mayor motivación en el ámbito de la física, sería recomendable analizar con detalle los modos de fallo de las estructuras, comparar su respuesta con la de estructuras reales y reflexionar sobre cómo los diseños iniciales podrían mejorarse.

## 5. Conclusiones

Este artículo describe las principales características de un taller organizado en la UPV para promover la ingeniería civil y estructural entre los estudiantes de secundaria. En el taller los participantes realizan un modelo a escala reducida de un puente y lo cargan hasta su rotura, debiendo realizar diseños que aguanten la máxima carga con la menor cantidad posible de materiales.

Por el escaso tiempo disponible para realizar la actividad, no es posible realizar una evaluación cuantitativa detallada de su éxito, pero la breve encuesta pasada por la UPV y la entrega, las reacciones y el entusiasmo de los participantes durante su desarrollo constituyen una medida de su éxito y han hecho que el taller se realice de forma continuada (con las excepciones provocadas por la pandemia Covid-19) desde el año 2016.

*“Disfruta construyendo y aprendiendo sobre puentes”, una experiencia activa para despertar vocaciones ingenieriles*

Finalmente, hay que destacar que los recursos empleados para realizar la actividad son sencillos y económicos, por lo que puede ser muy fácilmente trasladada a otros entornos educativos.

## 6. Referencias

ATLAS (2012). *Jugarse la vida para ir a clase en Indonesia*. <[https://www.abc.es/internacional/abci-ninos-indonesia-juegan-vida-201201200000\\_noticia.html](https://www.abc.es/internacional/abci-ninos-indonesia-juegan-vida-201201200000_noticia.html)> [Consulta: 28 de marzo de 2022]

BILLINGTON, D.P. (1985). *The Tower and the Bridge: The New Art of Structural Engineering*. Princeton: Princeton University Press.

BULWA D., FIMRITE P. (2007). *Tanker fire destroys part of MacArthur maze*. <https://www.sfgate.com/bayarea/article/Tanker-fire-destroys-part-of-MacArthur-Maze-2-2575285.php> [Consulta: 28 de marzo de 2022]

ICE, THE INSTITUTION OF CIVIL ENGINEERS. *Invisible superheroes exhibition*. <<https://myice.ice.org.uk/events/exhibitions/ice-invisible-superheroes-exhibition>> [Consulta: 28 de marzo de 2022]

SCHLAICH M. (2006) “Challenges in Education - Conceptual and Structural Design”. En: *IABSE Symposium Report 92*. Zurich: IABSE 20-26

UPV, UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA. CiènciaLab <[http://www.ciencialab.upv.es/talleres1\\_vera.html](http://www.ciencialab.upv.es/talleres1_vera.html)> [Consulta: 28 de marzo de 2022]

UNITED NATIONS - DEPARTMENT OF ECONOMIC AND SOCIAL AFFAIRS - POPULATION DIVISION, 2019a. *World Population Prospects 2019: Highlights*. New York: United Nations.

UNITED NATIONS - DEPARTMENT OF ECONOMIC AND SOCIAL AFFAIRS - POPULATION DIVISION, 2019B. *World Urbanization Prospects 2018: Highlights*. New York: New York: United Nations..