

La intuïció i l'experimentació com a eines docents motivadores

per a un millor rendiment acadèmic

David López López
Departament de Tecnologia de l'Arquitectura
Universitat Politècnica de Catalunya
david.lopez.lopez@upc.edu

Marta Domènech Rodríguez
Departament de Projectes Arquitectònics
Universitat Politècnica de Catalunya
marta.domenech@upc.edu

RESUM

Aquest treball presenta un projecte d'innovació docent que pretén incloure la intuïció i l'experimentació en l'aprenentatge de conceptes relacionats amb el comportament estructural dels edificis. L'experimentació directa per part de l'alumnat permet una millor comprensió i assimilació de conceptes i continguts i augmenta la motivació i la implicació de l'estudiantat, repercutint directament en el seu rendiment acadèmic. Es tracta d' "apropar el laboratori a l'aula" mitjançant petites maquetes físiques o kits d'experimentació que els alumnes poden construir i provar. Aquests kits estan especialment dissenyats per a l'explicació visual, intuïtiva i clara d'un o diversos conceptes estructurals.

D'una banda, amb l'ajuda d'aquests kits, els alumnes entenen ràpidament els conceptes a explicar i, de l'altra, poden comprovar les prediccions sobre el comportament de les estructures proposades, que han calculat prèviament, construint els models i provant-los.

La introducció dels kits d'experimentació es realitza mitjançant la metodologia "flipped classroom" i incorporant l'aprenentatge actiu i cooperatiu a les activitats de l'aula [1] [2]. Els alumnes repassen els continguts fora de classe i realitzen tasques cognitives d'alt nivell amb el/la professor/a. A l'inici de la classe i amb l'ajuda dels kits experimentals, es repassa breument els continguts principals, per després plantejar un exercici que els alumnes han de resoldre, primer individualment i després en grup, i del qual comproven experimentalment si l'han realitzat correctament, a la darrera part de la classe.

El caràcter experimental i visual d'aquestes activitats docents les fa més atractives per als estudiants d'arquitectura i es tradueix en una major motivació i participació a les classes, que, al seu torn, comporta millor rendiment acadèmic i millors notes.

PARAULES CLAU

Estructures, docència, arquitectura, models físics.

1 Enunciat del problema i objectius

Tot i la importància evident de l'estudi de les estructures d'edificació dins del pla d'estudis d'Arquitectura, aquest és un camp que sol despertar poc interès entre els estudiants. En molts casos, els cursos sobre disseny i/o anàlisi estructurals són percebuts pels estudiants com un obstacle incòmode i molest en el seu camí per obtenir el grau d'Arquitectura. Això afecta el seu rendiment i les seves notes, disminueix la matrícula en assignatures optatives sobre aquesta matèria i fa que els estudiants, aprovant la resta d'assignatures, acumulin suspensos en les d'estructures. La dificultat d'assimilar conceptes abstractes i/o complexos, la traducció dels quals a fenòmens estructurals concrets i l'aplicació dels quals no veuen clarament, és una causa directa de la baixa motivació de l'alumnat.

El projecte presentat en aquest article aborda aquest problema introduint la intuïció i l'experimentació com a eines didàctiques motivadores per millorar l'assoliment de competències i el rendiment acadèmic. Els objectius principals del projecte són els següents:

1. Millorar la comprensió dels conceptes estructurals.
2. Augmentar la motivació dels alumnes.
3. Millorar el rendiment acadèmic.
4. Augmentar el nombre d'estudiants que matriculen cursos relacionats amb les estructures.

2 Metodologia

La metodologia seguida per dur a terme aquest projecte es resumeix en els següents passos:

1. Identificació dels conceptes estructurals a treballar.
2. Estudi dels possibles kits d'experimentació per a l'explicació de cada concepte estructural.
3. Construcció dels kits d'experimentació.
4. Introducció dels kits als cursos.
5. Seguiment i avaluació de resultats.

Els conceptes estructurals seleccionats per ser explicats o explorats amb els kits experimentals van ser aquells que complien amb el requisit de tenir la possibilitat de ser presentats amb models físics que presentessin el fenomen de manera clara i visual. D'acord amb això, es van preveure tres tipus de kits experimentals o models físics:

- Per ajudar a l'explicació de conceptes
- Per explorar les possibilitats del disseny estructural
- Per comprovar prediccions de comportament estructural.

La forma final de cada maqueta o kit es va estudiar a partir de la seva claredat, facilitat de construcció, possibilitat d'experimentació per part dels alumnes i capacitat d'explicar diferents conceptes amb un mateix kit.

Els kits acabats es van portar a les classes per explicar els diferents conceptes estructurals. Els alumnes van poder experimentar amb ells i realitzar exercicis de predicció del comportament estructural per comprovar-los amb els models físics.

Les qualificacions dels alumnes juntament amb les respostes d'una enquesta anònima emplenada per ells al final del curs s'han utilitzat per avaluar els resultats del projecte.

3 Kits experimentals

Aquest capítol està dedicat a l'explicació dels kits experimentals fabricats o adquirits durant el projecte (Figura 1).

Un cop identificats els conceptes estructurals que es podrien explicar mitjançant l'experimentació, es van estudiar els possibles kits i, per a cadascun d'ells, es va avaluar la millor manera de construir-los en funció del cost, el temps dedicat i la qualitat del resultat final.



Figura 1: Alguns kits experimentals del projecte.

3.1 Kits per ajudar a l'explicació de conceptes

Aquests kits són utilitzats pel professor durant les seves explicacions.

3.1.1 Kits MOLA (Figura 2). “Mola és un model físic interactiu que simula el comportament de les estructures arquitectòniques. El model consta d'un conjunt de peces modulars que permeten infinitat de combinacions” [3]. Aquests models són extremadament versàtils i fàcils d'utilitzar, i són molt útils per a l'ensenyament de conceptes estructurals com l'estabilitat, les deformacions, el pandeig i les connexions en estructures porticades. A més, també es poden explorar estructures de cables i encavallades.

Es va avaluar la possibilitat d'imprimir en 3D i construir un kit similar. Tanmateix, es va optar per la compra dels kits MOLA com una millor opció tenint en compte, entre d'altres, el cost, la qualitat dels models, la versatilitat i el temps requerit.



Figura 2: Kits estructurals MOLA.

3.1.2 Arcs en 2D (Figura 3). Aquest kit experimental és útil per explicar el comportament estructural dels arcs. Té moltes possibilitats diferents per explicar diferents tipus d'arcs amb diferents condicions de límit, hipòtesis de càrrega, contraforts, etc.

Té l'avantatge que les diverses opcions es poden muntar de manera molt fàcil i ràpida.

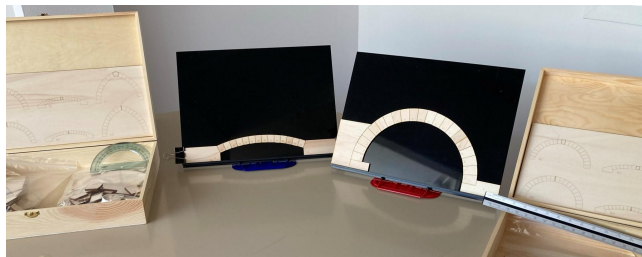


Figura 3: Kit d'Arcs en 2D.

3.2 Kits per explorar el disseny estructural

Tot i que qualsevol dels kits esmentats anteriorment es podria utilitzar per explorar diferents dissenys estructurals, els kits experimentals presentats en aquesta secció se centren en la recerca de formes d'estructures només de tracció o compressió, és a dir, l'exploració de formes optimitzades que funcionen només a tracció o només a compressió.

3.2.1 Models de cadenes (figures 4 i 5). Aquest kit permet als estudiants crear solucions d'equilibri funicular per investigar les possibilitats de disseny amb una restricció estructural: les cadenes només funcionen a tracció. Sabent que "de la mateixa manera que penja el fil flexible, així, però invertit, se sostindrà l'arc rígid", tal com va formular Hooke el 1675 [4], els estudiants són capaços de dissenyar closques treballant només a compressió. El kit es proveeix de diferents complements per fer pilars o parets, per tallar i subjectar les cadenes, etc.



Figura 4: Kit experimental per explorar models de cadenes.

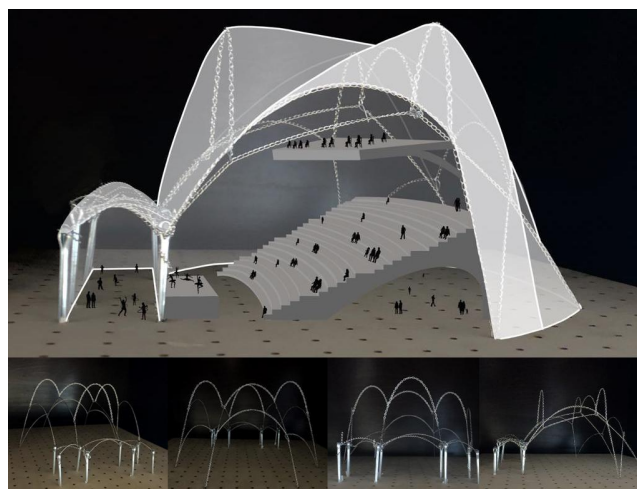


Figura 5: Model de cadenes i visualització. Fet pels alumnes: E. Arbona, C. Jaca, L. López i K. Narváez (ETSAV, UPC).

3.2.2 Models de guix (Figura 6). En aquest s'utilitza el mateix concepte que en el kit experimental anterior. No obstant això, aquesta vegada s'utilitza tela amb guix com a material penjant, donant com a resultat un model de superfície, en contrast amb el model fet d'una xarxa d'elements lineals.



Figura 6: Kit per explorar models colgants de superfície.

3.3 Kits per comprovar prediccions de comportament estructural

Aquests kits s'utilitzen en combinació amb exercicis per predir el comportament estructural de tipus específics d'estructures. El comportament previst de les estructures esmentades pot ser en termes qualitius o quantitatius.

3.3.1 Arcs i cúpules impresos en 3D (figura 7). Els alumnes utilitzen aquest kit per comprovar la correcció dels seus càlculs o del seu model computacional. Poden pesar i mesurar les peces per introduir les dades en els seus càlculs i predir, per exemple, el desplaçament màxim dels suports o la càrrega màxima sobre l'estructura. Un cop tenen un resultat, poden comprovar-ne la correcció construint, provant i mesurant el model físic.

Aquests models es van imprimir en 3D amb material PLA (àcid polilàctic). L'adquisició d'una impressora 3D permet la continuació del projecte fabricant més models, amb el material com a única despesa. La impressora 3D és una eina molt versàtil que permet una ràpida adaptació dels kits als dubtes o requisits específics del curs concret, ja que el professor pot imprimir eventuais peces necessàries per explicar un concepte a la classe de la setmana següent.

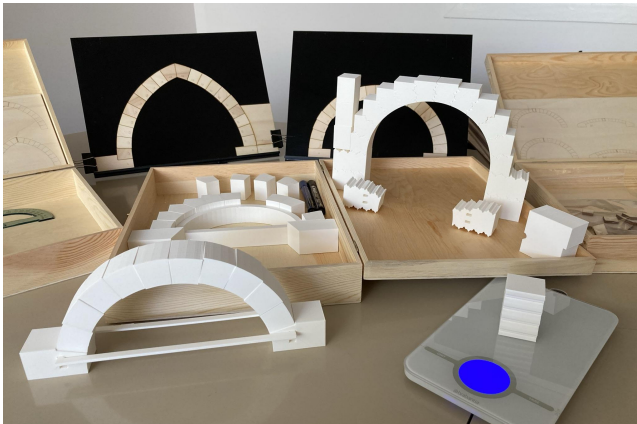


Figura 7: Kits experimentals impresos en 3D.

3.3.2 Arcs en 2D (Figura 3). Aquest kit, ja presentat a l'apartat 3.1.2, també pot servir com a verificació dels resultats qualitius dels exercicis assignats als alumnes. Per exemple, es podria comprovar la configuració dels mecanismes de col·lapse de diferents tipus d'arcs sotmesos a una diversitat de casos de càrrega (Figura 8).

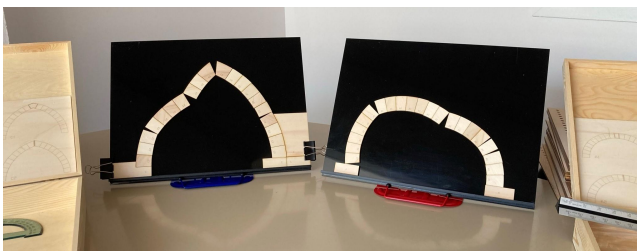


Figura 8: Arcs en kits experimentals 2D que mostren mecanismes de col·lapse.

3.3.2 Kits MOLA (Figura 2). Igual que en el cas anterior, aquest kit, ja presentat a l'apartat 3.1.1, també pot servir com a verificació de resultats qualitius com, per exemple, la manera com es deforma una estructura porticada (Figura 9).



Figura 9: Proves al kit estructural MOLA.

4 Els kits a l'aula

Els kits experimentals s'introdueixen utilitzant la metodologia del "flipped classroom", en què l'alumne realitza amb el/la professor/a, a classe, les tasques cognitives d'alt nivell: síntesi, avaluació, resolució de problemes complexos amb solucions diverses, etc., mentre que les de baix nivell (lectura, escolta, comprensió, exercicis senzills de solució única...) es realitzen a casa [1] [2]. Aquesta metodologia requereix que el material didàctic que els alumnes revisen a casa sigui extremadament clar i s'expliqui per si mateix. Les píndoles audiovisuals s'utilitzen molt sovint amb aquesta finalitat. D'aquesta manera, l'alumnat pot ajustar el temps dedicat a comprendre el contingut segons les seves necessitats, ja que poden aturar el vídeo, veure'l més d'una vegada, buscar un moment concret, etc.

El temps de classe es dedica, en primer lloc, a un breu repàs dels conceptes més importants o crítics amb l'ajuda dels kits experimentals i, després, a resoldre dubtes, analitzar, crear, resoldre problemes complexos i comparar, fonamentar, contrastar, discriminar i justificar les solucions escollides, també amb l'ajuda dels kits. Són aquestes tasques d'alt nivell cognitiu en què l'alumne necessita més ajuda i les que l'ensenyament tradicional sol deixar per fer fora de l'aula. Moltes d'aquestes tasques estan previstes per fer-les en grup a l'aula, fomentant així el treball col·laboratiu.

Gràcies a aquesta metodologia activa, 6 dels 7 principis d'ensenyament de qualitat establerts per Chickering i Gamson (1987) [5] es garanteixen en hores lectives:

- Fomentar el contacte entre estudiantat i professorat
- Desenvolupar la reciprocitat i la cooperació entre els alumnes
- Emprar tècniques d'aprenentatge actiu
- Proporcionar "feedback" a temps
- Dedicar temps a les tasques més rellevants
- Respectar els diferents talents i maneres d'aprendre

Tenint en compte això, i segons Chickering i Gamson, el/la professor/a només necessita "projectar davant dels alumnes

expectatives elevades" per a aconseguir el compliment dels 7 principis esmentats.

5 Resultats

A les assignatures on s'han introduït els kits d'experimentació i la metodologia, aquests han estat valorats molt positivament pels alumnes a través d'enquestes anònimes. L'última enquesta realitzada, amb el projecte en la situació més avançada, va demostrar que els alumnes troben adequats els apunts i el material de suport, més del 90% creu que el contingut es presenta amb claredat i poden seguir les explicacions amb facilitat. A més, el 79% dels estudiants es matricularia en una segona part de l'assignatura.

6 Conclusions i treballs futurs

La intuïció i l'experimentació són eines didàctiques que poden ajudar en l'explicació de conceptes estructurals d'una manera visual i atractiva, millorant la motivació i les notes dels alumnes.

La introducció de kits experimentals en els cursos sobre estructures en el pla d'estudis d'arquitectura de l'ETSAV (UPC) va ser rebuda molt positivament per part dels estudiants. La majoria d'ells van expressar que els kits els van ajudar a entendre conceptes estructurals. A més, l'enquesta anònima realitzada al final del curs va mostrar que el 79% dels estudiants es tornarien a matricular en un curs similar.

Els autors consideren que l'actualització periòdica de la pràctica docent per tal de millorar-ne la qualitat i augmentar la motivació i el rendiment acadèmic dels estudiants és una tasca obligatòria per al professorat. Per tant, el present projecte es continuarà i ampliarà mitjançant l'estudi de possibles kits d'experimentació addicionals i fabricant-los amb la impressora 3D adquirida. A més, els autors exploraran la combinació d'aquests models físics amb el desenvolupament de models estructurals interactius i computacionals basats en estàtica gràfica, que permetin als estudiants predir el comportament d'una sèrie d'estructures i comprovar immediatament la correcció de les seves prediccions amb els kit experimentals, canviant la posició de les càrregues i algunes característiques del model físic, que estarà especialment dissenyat per permetre aquestes modificacions [6]. Els autors creuen que l'enfocament geomètric de l'ensenyament de les estructures a través de l'estàtica gràfica, juntament amb l'ús dels models paramètrics i l'experimentació amb models físics, potenciaran el buscat mètode intuïtiu i fàcil d'entendre per a l'ensenyament de les estructures [7].

AGRAÏMENTS

Aquest treball va comptar amb el suport de l'Institut de Ciències de l'Educació de la UPC. Convocatòria "Ajuts a la millora docent de la UPC (Acord CG/2019/04/14)".

Els autors també agraeixen al Taller de Maquetes de l'ETSAV i al seu director Àngel García el seu suport i ajuda en la construcció dels kits experimentals.

REFERÈNCIES

- [1] Jonathan Bergmann i Aaron Sams, 2012. *Flip Your Classroom: Reach Every Student in Every Class Every Day*. Washington, DC: International Society for Technology in Education.
- [2] Mercedes Marqués, 2016. Qué hay detrás de la clase al revés (flipped classroom). En *Proceedings of the XXII Jenui*. Almería. ISBN: 978-84-16642-30-4.
- [3] Kit estructural MOLA, <https://molamodel.com/pages/mola-structural-model>
- [4] Philippe Block, Matt DeJong i John Ochsendorf, 2006. As Hangs the Flexible Line: Equilibrium of Masonry Arches. *Nexus Network Journal* 8:2, 13-24. DOI 10.1007/s00004-006-0015-9.
- [5] Arthur W. Chickering i Zelda F. Gamson, 1987. Seven Principles for Good Practice in Undergraduate Education. *AAHE Bulletin*, Març 1987, 3-7.
- [6] Tom Van Mele, Lorenz Lachauer, Matthias Rippmann i Philippe Block, 2012. *Journal of the International Association for Shell and Spatial Structures: J. IASS*, 53:4, Desembre 174.
- [7] Ricardo Maia Avelino, Juney Lee, Tom Van Mele i Philippe Block, 2021. En *Proceedings of the International fib Symposium on Conceptual Design of Structures*, Sept. 16-18, Attisholz, Switzerland.