

De les MATES al STEAM

Conclusions i actuacions desenvolupades a la E.T.S. d'Enginyeria de Camins, Canals i Ports

Rolando Chacón †

E.T.S. d'Enginyeria de Camins,
Canals i Ports. Universitat
Politécnica de Catalunya
rolando.chacon@upc.edu

M. Rosa Estela

E.T.S. d'Enginyeria de Camins,
Canals i Ports. Universitat
Politécnica de Catalunya
m.rosa.estela@upc.edu

ABSTRACT

Aquest article descriu els resultats del projecte “de las MATES al STEAM”, el qual es va completar durant els anys 2019 a 2021 a la E.T.S. d'Enginyeria de Camins, Canals i Ports. L'objectiu inicial del projecte era desenvolupar i aplicar una sèrie d'activitats per la infusió de continguts de Construcció 4.0 a un grau en Enginyeria Civil. Fent èmfasi en els estudiants de primers cursos i amb una perspectiva d'inclusió, l'acrònim desmuntat MATES-STEAM va donar peu al projecte. Tot i que el desenvolupament del projecte ha coincidit amb les restriccions sanitàries global i no es van poder desenvolupar activitats presencials, es presenten una sèrie de resultats obtinguts. La sèrie d'activitats desenvolupada mostren una perspectiva triple: i) totes estan relacionades amb la construcció 4.0, ii) totes tenen una visió STEAM by-design i iii) totes es conceben amb maquinari i programari de codi obert, accessible i assequible. Projectes inicials i finals (cornerstone i capstone), així com un conjunt de tallers, representen alguns demostradors d'aquestes activitats. En els propers anys, s'espera que un desplegament més sistemàtic millorat d'aquestes activitats permeti avaluar l'evolució entre eines, pedagogies STEAM i les necessitats del sector de la Construcció.

PARAULES CLAU

Mates, Steam, Tinkering, Electronic Prototyping platforms, 3D printing,

1 Introducció

El procés de digitalització del sector Arquitectura, Enginyeria i Construcció (AEC) és implacable. En altres sectors, això ha suposat un canvi econòmic important entre els actors, el que ha portat a un canvi de rols i de posicions econòmiques en els últims anys. AEC sens dubte també experimentarà una disrupció considerable. El sector de l'entorn construït està arribant a la maduresa per passar a una producció, models de negoci i, en general, cadenes de valor més eficients amb una forta component digital. Tant els entorns naturals com els construïts ofereixen infinites possibilitats de digitalització quan es tracta d'enllaçar actius físics i models virtuals. De fet, els models físic-matemàtics

que intentar explicar l'entorn natural i l'entorn construït han estat el nucli de l'ensenyament en l'Enginyeria Civil en les últimes dècades. No obstant, amb una perspectiva acadèmica, al observar les disrupcions digitals en altres sectors econòmics, es posa de manifest que un camí equilibrat cap a la digitalització d'un sector implica la coordinació entre les parts interessades. L'acadèmia on es formen noves generacions d'enginyers i enginyeres civils està cridada a estar present i activa en aquest escenari.

Els avenços tecnològics de l'AEC estan alterant actualment el sector. Quan s'apliquen de manera coordinada i sistemàtica, aquests avenços són molt més potents en eficiència. La coordinació entre l'àmbit de la construcció i el seu homòleg virtual està generant un marc de Construcció 4.0 en el qual es pot identificar un tríode de tres temes.

- Producció industrial (prefabricació, fabricació digital, fabricació additiva, fabricació fora de lloc i muntatge robòtic).
- Sistemes ciber-físics (sistemes autònoms, bessons digitals, infraestructura intel·ligent).
- Tecnologies digitals (BIM, realitats augmentades, interoperabilitat, cloud computing, blockchain, IA, visió per computador, etc.).

A l'AEC, durant algunes dècades s'han discutit propostes per introduir l'automatització i la robòtica dins dels plans d'estudis [1]. Fa uns anys, la poca accessibilitat a les eines d'automatització i robòtica va certament limitar el seu ús massiu en àmbits docents. Darrerament, però, les eines són cada vegada més obertes, accessibles i assequibles.

D'altra banda, l'adopció del BIM en els plans d'estudis d'enginyeria civil és una tendència molt més ràpida. Les eines necessàries són digitals i han evolucionat de manera natural en el mercat des dels entorns CAD, els quals ja són molt coneguts en àmbits docents. Podem trobar debats i escrutinis sistemàtics sobre el nivell d'adopció de BIM en entorns educatius [2].

Les darreres tendències en sistemes ciberfísics comencen a trobar un lloc interessant a les aules també [3]. Quan es tracta de sistemes ciberfísics a les aules AEC, s'identifiquen els desenvolupaments de bessons digitals i de sistemes físic-digitals en l'ensenyament de l'Enginyeria Civil [4-5].

Dins el projecte “de las MATES al STEAM”, s’ha elaborat una sèrie d’activitats educatives en el període 2019-2021 a l’Escola Tècnica Superior d’Enginyeria de Camins Canals i Ports de Barcelona. L’objectiu inicial del projecte era plantejar una contribució coherent per a l’actualització del pla d’estudis en enginyeria civil. Per això, es va plantejar fusionar les necessitats educatives de Construcció 4.0 amb una visió pedagògica STEAM de caire inclusiva i adreçada als estudiants de primers cursos. Els enigmes inicials a l’inici d’aquest desenvolupament van ser: Com estan preparats els plans d’estudis d’enginyeria civil existents per a aquesta digitalització?. Com s’implanta la fabricació digital i automatitzada a les aules AEC? Els estudiants d’AEC estan prou preparats per entendre els sistemes ciberfísics concebuts per als entorns naturals o construïts? Quin és el nivell de maduresa dels currículums basats en BIM a l’AEC. Una extensa revisió de la literatura acadèmica va permetre identificar les pràctiques acadèmiques a tot el món, així com alguns forats en el pla d’estudis. És important recordar que el desenvolupament de tot el projecte va estar marcat pel confinament i les restriccions sanitàries.

2. Definició de les activitats dins un Grau en Enginyeria Civil.

Les titulacions estàndard de Grau en Enginyeria Civil o similars des de que es va implementar el Pla Bolonya tenen un recorregut de quatre anys. Es desenvolupa de manera històrica, planteja una transició entre els continguts teòrics amb una forta component d’abstracció (Càlcul, Àlgebra, Dibuix, Mecànica del Medi Continu, etc) i els continguts aplicats pel projecte i construcció d’infraestructures (Estructures d’obra civil, Obres Hidràuliques, Sistemes de Transport, etc).

La sèrie d’activitats de Construcció 4.0 proposades segueixen un camí d’aprenentatge paral·lel al d’un currículum estàndard tal i com s’il·lustra a la figura 1.

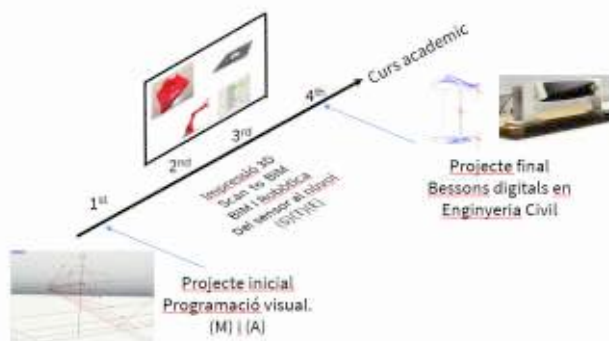


Figura 1: Visió de les activitats dins un Pla d’estudis d’Enginyeria Civil

Per disseny, el camí està concebut per incloure el tríode representat de temes de Construcció 4.0 amb un enfocament STEAM. Fent èmfasi en aquesta il·lustració, s’identifiquen diversos punts:

- El 1^{er} curs es proposen projectes clau relacionats amb la programació. Aquests projectes estan concebuts amb l’objectiu d’introduir-se en la programació visual i geomètrica, fonamentals per a desenvolupaments posteriors. El contingut de la programació dels projectes també està alineat amb el pla d’estudis real dels cursos regulars de Càlcul, Àlgebra i Geometria. En els darrers tres anys ja s’han dut a terme implementacions pilot dins de cursos formals a l’Escola. Els components principals de STEAM d’aquests projectes són Matemàtiques (M) i Arts (A). Es recullen els resultats obtinguts durant els anys 2020 i 2021 en els articles [6-8].
- A 2^a i 3^a curs, les activitats consisteixen en un conjunt de tallers. Diferents temàtiques de la Construcció 4.0 com Laser Scanner, Impressió 3D, Automatització i Robòtica, Fabricació Digital, BIM o IoT representen temes fèrtils per a la generació de tallers que es poden actualitzar any rere any. Els principals components STEAM d’aquests projectes són Ciència (S), Tecnologia (T) i Enginyeria (E). Aquests tallers són autònoms, però si els estudiants coneixen el contingut dels projectes fonamentals, es potencia la seva corba d’aprenentatge i els seus assoliments. Aquests tallers estan concebuts per a 1 ECTS. Si aquest crèdit ha de ser reconegut per l’alumnat pel sistema, el nombre mínim d’hores d’aquestes activitats amb la deguda realització és de 12. Una explicació detallada de les activitats desenvolupades fins ara es troba recollida en els articles [9-10].
- A 4^{rt} any, un projecte final permet tancar el bucle integrant tots els components (S)(T)(E)(A)(M) en una sola activitat. Idealment, això representa un terreny fèrtil per a projectes més ambiciosos amb una perspectiva multidisciplinària. La seva aplicació pot anar des del treball final individual de grau fins a projectes més multidisciplinaris en els quals poden confluïr estudiants d’electrònica, informàtica i enginyeria civil. La primera opció ja s’ha experimentat a l’Escola, mentre que la segona requereix més coordinació entre els centres educatius a tota la Universitat.

La descripció més detallada del plantejament curricular s’ha publicat en obert en la revista *Buildings*, de referència en el sector[11].

3. Actuacions

Es presenten algunes descripcions i il·lustracions de les activitats desenvolupades enguany en les figures 2 a 11.

A primer curs, s'ha desenvolupat i aplicat un repte. Construir i derivar una corba mitjançant eines de programari visual (Processing). L'implementació de l'activitat ha estat liderada pel professorat de primer curs de l'Escola. Enguany, més de 200 estudiants han participat en aquesta activitat de programació i més de 100 corbes han estat entregades. En base a documentació en vídeo i un pdf, els estudiants assolixen el repte en el temps establert.



Figura 2: Mostra de corbes en l'activitat "Deriva la corba"

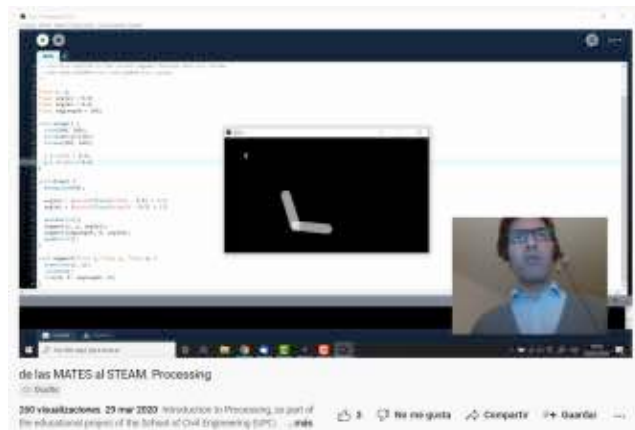


Figura 3: Tutorial (vídeo) per programació visual en Processing (14:57 minuts).

Dins el marc dels tallers plantejats per segon i tercer curs, les figures 4 i 5 mostren la sessió de preparació (amb un numero limitat d'estudiants) del taller d'impressió 3D de superfícies i volums matemàtics mitjançant eines de geometria computacional. L'eina seleccionada en aquest cas es Grasshopper (programari amb llicència, però).

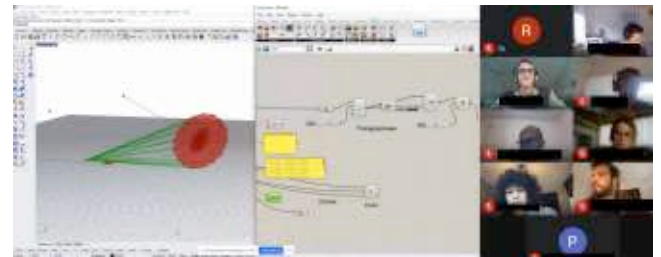


Figura 4: Curs online de geometria computacional amb impressió 3D. 12 hores

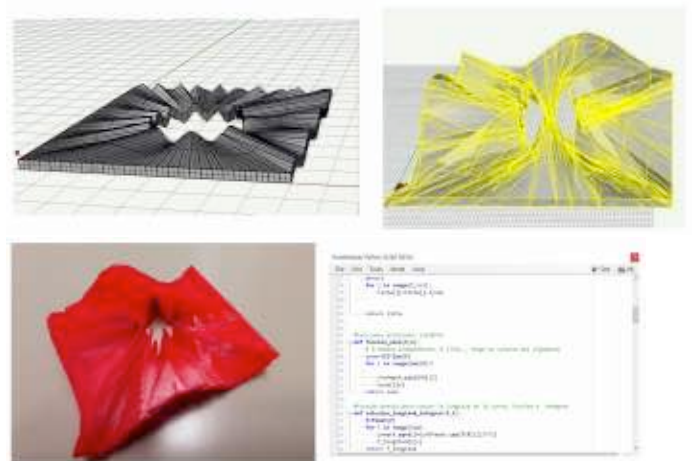


Figura 5: Superfícies matemàtiques assolides pels participants del taller de preparació.

Per un altre banda, es van preparar actuacions pels tallers del tipus Scan-to-BIM. Primerament, es van plantejar accions pel desenvolupament i us d'escàner làsers fets amb maquinari lliure. Simultàniament, aquest escàner es va bessonitzar amb l'objectiu de tractar núvols de punts en temps reals amb caràcter educatiu.

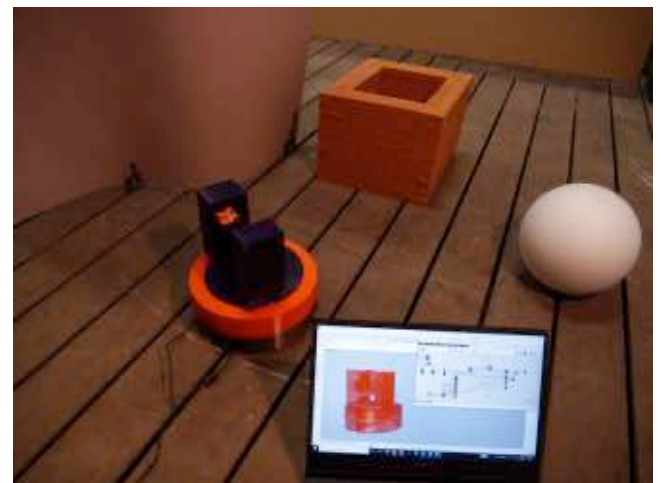


Figura 6: Escaner laser desenvolupat a Camins [8].

Una de les activitats pilots que s'han pogut desenvolupar de manera presencial es PetanCamins. Un joc de petanca en forma "física-virtual" en el que els estudiants poden fer partides "tradicionals" amb una component de virtualització de la escena i posterior tractament de núvols de punts en el context de eines habilitades amb BIM i geometria computacional. Aquesta activitat opcional es pot desenvolupar en 2 hores. Amb la qual cosa, en aquest format, no es considera com activitat reconeguda amb ECTS.



Figura 7: PetanCamins. Joc físic

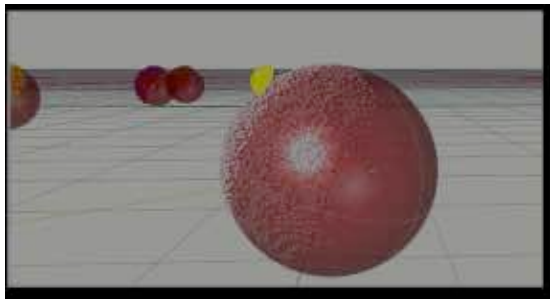


Figura 8: PetanCamins. Resultat virtual del Joc físic



Figura 9: Tutorial de geometria computacional pels participants de PetanCamins (29 minuts)

Una de les activitats que han assolit un nivell de maduresa mes alt es del *Sensor al núvol*. Des de l'any 2015, aquesta activitat s'ha anat implementant en cursos de Màster a l'Escola. Amb aquesta experiència i el desenvolupament d'una eina de programari lliure a l'Escola anomenada "Camins SmartLab", es compta amb un taller de 12-15 hores de durada. El contingut i temps del taller permetrien plantejar un reconeixement de crèdits ECTS (1). El temari inclou us de sensors, microcontroladors, interfícies gràfiques i emmagatzematge de dades al núvol mitjançant protocols HTTP i MQTT.

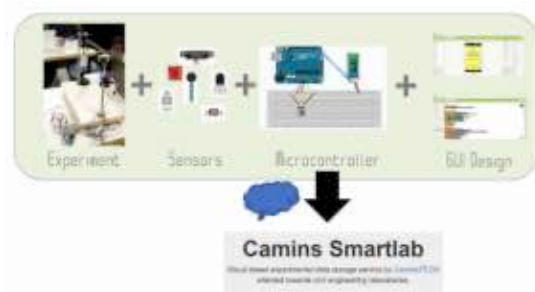
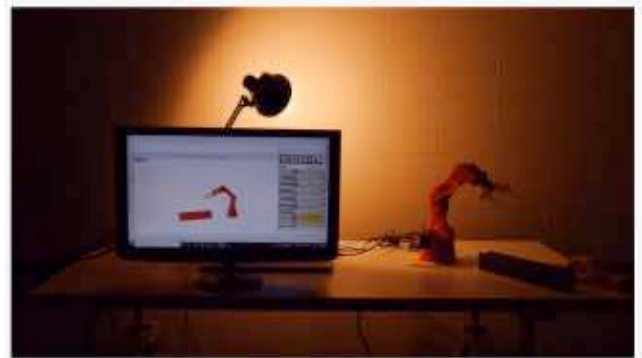


Figura 10: Sensor al núvol. Taller de 15 hores

Per un altre banda, es van preparar actuacions pels tallers del tipus BIM i Robòtica. Es van plantejar accions pel desenvolupament i us d'un braç robòtic amb el seu bessó digital. El braç esta desenvolupat amb maquinari lliure i la seva versió virtual amb Grasshopper y Python.



Sehadevs. BIM-enabled robotic arm
14 visualizaciones · 28 sept 2021 · One of the worklopps of the project. No me gusta · Compartir · Guardar

Figura 11: BIM i Robòtica. Desenvolupament.

Finalment, es planteja la integració de totes les activitats anteriors amb la creació de projectes de bessons digitals per l'enginyeria civil. Un bessó digital multicapa ha d'incloure programació visual, geometria computacional, us de sensors, interfícies gràfiques, us de núvol amb dades etc. Enguany, diversos projectes finals de grau que representen bessons digitals d'elements estructurals (flexió, torsió, xarxes de cables) han estat desenvolupats amb les eines descrites. La figura 12 mostra un petit bessó digital educatiu que es fa servir sistemàticament a l'ETS de

Camins, Canals i Ports en les titulacions de grau com a eina didàctica. Es tracta de una petita biga sotmesa a sol·licitacions de torsió i que en temps real, mostra el comportament tensional (de torsió uniforme, torsió de guerxament i torsió mixte). Aquest bessó digital s'utilitza en cursos bàsics d'Estructures d'acer des d'enguany.

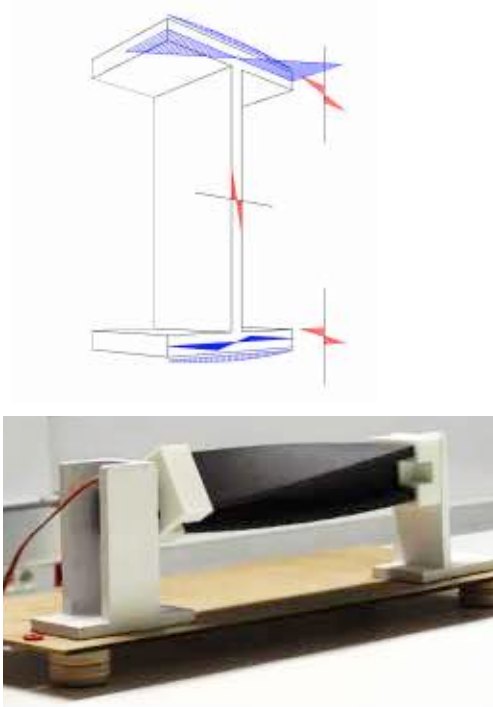


Figura 12: Bessó digital d'una biga sotmesa a sol·licitacions de torsió.

4. Conclusions

Aquest document mostra els punts clau en el desenvolupament de "de las MATES al STEAM". El projecte va donar com a resultat el disseny d'un conjunt d'activitats per incorporar conceptes de Construcció 4.0 dins d'un pla d'estudis d'enginyeria civil. El desenvolupament d'aquestes activitats es va concebre des del disseny utilitzant una perspectiva STEAM. Els resultats detallats es poden consultar en una sèrie d'articles de revista (2) i de conferència (5) disponibles en obert. Tot i que el desenvolupament del projecte va coincidir amb restriccions sanitàries que han obligat a repensar les actuacions amb els estudiants de manera considerable, els resultats mostren un terreny fèrtil de possibilitats per la inclusió d'activitats en els plans d'estudis tradicionals.

Agraïments

Els autors agraeixen a l'Institut de Ciències de l'Educació de la Universitat Politècnica de Catalunya pel recolzament en el desenvolupament d'aquest projecte.

REFERENCES

- [1] Boles, W.W., Wang, J. (1996), Construction Automation and Robotics in Civil Engineering Education Programs, Journal of Professional Issues in Engineering Education and Practice, Vol. 122, pp. 12-16.
- [2] Wang, L., Huang, M., Zhang, X., Jin, R., Yang, T. (2020), Review of BIM adoption in the Higher Education of AEC disciplines. Journal of Civil Engineering Education, Vol. 146, 06020001.
- [3] Sepasgozar S.M.E., (2020). Digital twin and web-based virtual gaming technologies for online education: A case of construction management and engineering. Applied Sciences, Vol. 10(13), 4678
- [4] Chacón, R.; Sánchez-Juny, M.; Real, E.; Gironella, F.X.; Puigagut, J.; Ledesma, A. Digital twins in civil and environmental engineering classrooms. In Proceedings of the 4th International Conference on Civil Engineering Education: Challenges for the Third Millennium, September 2018; EUCEET: Barcelona, Spain; pp. 290–299. <http://congress.cimne.com/EUCEET2018/frontal/Doc/Ebook-EUCEET-2018.pdf>
- [5] Chacón, R.; Codony, D.; Toledo, Á. From physical to digital in structural engineering classrooms using digital fabrication. Comput. Appl. Eng. Educ. 2017, 25, 927–937. <https://doi.org/10.1002/cae.21845>
- [6] Chacón, R.; Estela, M.R. Designing maths-based STEAM activities for civil engineering curricula (Work in Progress). Frontiers in Education 2020. <https://ieeexplore.ieee.org/document/9273989>
- [7] Chacón, R.; Estela, M.R. STEAM activities for civil engineering curricula. From Calculus to Digital Twins. Frontiers in Education 2021. <https://ieeexplore.ieee.org/document/9637163>
- [8] Estela, M.R.; Chacón, R. Interactive programming activities for 1st year students of calculus in civil engineering. Accepted. In Proceedings of the 5th International Conference on Civil Engineering Education: The Role of Education for Civil Engineers in the Implementation of the SDGs; EUCEET: Thessaloniki, Greece, 2021.
- [9] Ramonell, C.; Chacón, R. Open-source Terrestrial Laser Scanner for the virtualization of geometrical entities in AEC classrooms. Comput. Appl. Eng. Educ. (Early View) 2022. <https://doi.org/10.1002/cae.22499>
- [10] Chacón R.; Ramonell C., Puig-Polo C. A cyber-physical educational game of Petanca. Petan-Camins (Work in Progress). Enviat a la conferència Frontiers in Education 2022 (en revisió).
- [11] Chacón, Rolando. 2021. "Designing Construction 4.0 Activities for AEC Classrooms" Buildings 11, no. 11: 511. <https://doi.org/10.3390/buildings11110511>
- [12] Chacón R. (2022). Learning path for Construction 4.0 based on tinkering and STEAM. Enviat a la conferència SEFI 2022 (en revisió).