

L'APRENENTATGE DE L'ENGINYERIA. TENDÈNCIES ACTUALS

David López¹ i Fermín Sánchez-Carracedo²

1. Professor titular al Departament d'Arquitectura de Computadors de la Universitat Politècnica de Catalunya (UPC). Especialitat en educació de l'enginyeria. Coordinador del grup de recerca interuniversitari (UPC-UOC) en educació de l'enginyeria EduSTEAM. david.lopez@upc.edu

2. Professor titular al Departament d'Arquitectura de Computadors de la UPC. Investigador principal dels projectes EDINSOST. Professor de la Maestría en Procesos Innovadores del Aprendizaje de la Universitat de Guadalajara (Mèxic) i del programa de postgrau Ensenyament Universitari en Ciències, Tecnologia, Enginyeria, Arquitectura i Matemàtiques (STEAM) de la UPC. fermin.sanchez@upc.edu

Resum: L'educació en enginyeria ha anat evolucionant durant l'últim segle, amb canvis basats en l'observació de coses que no funcionaven i que calia millorar, però no en un estudi sistemàtic i científic de les necessitats específiques de l'enginyeria en educació. Amb l'actual maduresa del camp de recerca en educació de l'enginyeria, s'està produint una profunda reflexió sobre el que caldria canviar per tenir una educació de més qualitat en enginyeria. Aquest article presenta, de manera molt esquemàtica, d'on venim i cap a on anem actualment en l'educació de l'enginyeria.

Paraules clau: educació de l'enginyeria, competències, futurs plans d'estudis, metodologies educatives per a educació de l'enginyeria.

ENGINEERING EDUCATION. CURRENT TRENDS

Abstract: Engineering education has been evolving over the last century, with changes based on the observation of things that were not working and that needed to be improved rather than on a systematic scientific study of the specific needs of education in engineering. With the maturity now reached in the field of engineering education research, an in-depth reflection is being made on what needs to be changed in order to achieve a higher quality of education in engineering. This article shows, in a very summarized way, where we started out from and where we are now heading in the field of engineering education.

Keywords: engineering education, competences, future curricula, educational methodologies for engineering education.

1. Breu història de l'educació en enginyeria

A bans de la Segona Guerra Mundial, la visió de l'enginyeria a Europa i als Estats Units d'Amèrica (EUA) era força diferent. Mentre que a Europa hi havia una tradició d'una base científica, els plans d'estudis als EUA estaven basats en la pràctica i la resolució de problemes. L'experiència de la Segona Guerra Mundial va provocar diversos canvis en l'educació en enginyeria als EUA, ja que es va comprovar que els professionals de l'enginyeria no eren tan bons per resoldre certs tipus de problemes com ho eren els físics (per exemple), perquè ignoraven la ciència subjacent a l'electrònica o les armes nuclears (Seely, 1999).

Després de la Segona Guerra Mundial, els EUA prenen el lideratge en l'educació en enginyeria, en part degut al fet que la necessitat de reconstrucció a Europa porta un gran nombre d'experts a migrar als EUA. Aquest lideratge ha continuat fins als nostres dies.

En temps de la Guerra Freda es fa més èmfasi en la ciència darrere l'enginyeria i en l'enfocament analític

als estudis. Fins i tot es planteja als EUA tenir unes universitats especialitzades en estudis professionals i altres en estudis científicoprofessionals (orientats a la recerca). Aquesta proposta no arriba a realitzar-se, ja que les universitats no volen renunciar als diners que suposen les beques i els contractes en recerca (especialment les provinents del sector militar) (Froyd, Wankat i Smith, 2012).

L'evolució següent es produeix dintre la mateixa orientació del professorat d'enginyeria: mentre que a la dècada dels seixanta la majoria del professorat a les universitats americanes provenia de la indústria i incorporava a les seves classes les necessitats pràctiques de l'empresa, durant els anys vuitanta té lloc una progressiva «professionalització» del professorat (ja que desenvolupa tota la seva carrera professional a la universitat), que passa a estar centrat en la recerca bàsica i en els aspectes científics de l'enginyeria, i no en la seva aplicació pràctica, amb la qual cosa es produeix un distanciament entre les necessitats de la indústria i allò que s'ensenya a la universitat.

Un nou canvi té lloc durant la dècada dels noranta amb l'aparició de mètodes d'acreditació dels plans d'estudis d'enginyeria basats en els objectius i resultats d'aprenentatge de l'estudiantat per mitjà del sistema d'acreditació *ABET Engineering criteria 2000* (Prados, Peterson i Lattuca, 2005). A més del sistema de l'Accreditation Board for Engineering and Technology (ABET, 2021) als EUA, sorgeixen sistemes d'acreditació similars a altres entorns, com el del Canadian Engineering Accreditation Board (CEAB, 2021) al Canadà o el de l'European Network for Accreditation of Engineering Education (ENAAEE, 2021) a Europa. Aquests sistemes d'acreditació van forçar un canvi de paradigma en l'ensenyament de l'enginyeria, que va portar l'aparició d'iniciatives com la CDIO (*conceive, design, implement, operate*), liderada l'any 2000 pel Massachusetts Institute of Technology (MIT), amb l'objectiu de millorar les capacitats que demana la indústria sense reduir l'aprenentatge científic de les disciplines (Crawley, 2001; Berggren *et al.*, 2003). Amb la mateixa idea, a Europa sorgeix el projecte «Tuning Educational Structures in Europe» (González i Wagenaar, 2006).

Coincidint en el temps, hi ha un replantejament de l'ensenyament universitari en general, i no centrat únicament en l'enginyeria. En aquests anys es defineix l'espai europeu d'educació superior (EEES) a partir de la declaració de Bolonya, que modifica el procés d'ensenyament-aprenentatge fonamentant-lo en l'adquisició de competències i un sistema de comptatge de crèdits basat en les hores de treball de l'estudiant (i no en les hores de classe rebudes).

A partir del 2005 es comença a fer més èmfasi en el tema del disseny dins dels plans d'estudis d'enginyeria. Feia anys que experts avisaven que el pes de la ciència i les matemàtiques era excessiu, mentre que s'havia reduït la importància del disseny, que, d'altra banda, és bàsic en el treball del professional en enginyeria (Sheppard i Jenison, 1997; Kerr i Pipes, 1987). Algunes iniciatives busquen invertir el model actual, que es basa en uns primers cursos teòrics en ciències i últims cursos en enginyeria, de manera que en els primers anys es faci èmfasi en disseny i projectes (molt pràctic) i en els cursos avançats s'ensenyi la ciència darrere allò après. Entre aquestes iniciatives, novament el MIT sobresurt amb el seu projecte «New engineering education transformation» (NEET, <https://neet.mit.edu>).

La situació actual (i la futura) ve marcada pel fet que la recerca en educació de l'enginyeria està assolint una certa maduresa (Borrego, 2007). L'educació en enginyeria ha incorporat als mètodes tradicionals de recerca en enginyeria altres metodologies investigadores de l'àmbit de les ciències socials, com la psicologia o la sociologia, ja que, a la fi, parlem d'éssers humans que participen en el procés d'ensenyament-aprenentatge, fet que resulta en una àrea de recerca ja consolidada (Streveler i Smith, 2006). Actualment, són les troballes d'aquesta àrea de recerca les que marquen les pautes del futur de l'educació en enginyeria.

2. Competències

És cabdal basar l'aprenentatge en l'adquisició de competències. Per situar-nos, el primer que s'hauria de fer és aclarir què s'entén, actualment, per *competències*. Una molt bona definició és la que aporten l'Association for Computing Machinery (ACM) i l'Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE) (2020), que indiquen que:

Competència = coneixement + habilitats + actituds.

Així, una competència no s'adquireix de cop (una vegada i per sempre), sinó que es comença en un nivell bàsic i es va adquirint en un nivell superior conforme es va afegint més *coneixement*, es va relacionant aquest coneixement amb l'altre que s'ha adquirit anteriorment, en aquesta o en una altra competència (augmentar *habilitats*), amb la capacitat d'entendre l'impacte i les *actituds* que han d'adoptar aquelles persones que desenvolupen la seva tasca professional utilitzant aquesta competència.

Un dels objectius de l'ensenyament per competències és permetre que els estudiants siguin capaços d'utilitzar els coneixements i les habilitats adquirides en entorns diferents dels que han estudiat. Tot i això, segons Héctor Ruiz Martín (2020), aquest és un dels objectius més difícils d'aconseguir degut a la manera com funciona el cervell humà. Qualsevol nou coneixement s'integra dins el cervell realitzant noves connexions a la seva xarxa neuronal. Per tal que aquest coneixement sigui durador i pugui aplicar-se de forma efectiva, cal relacionar-lo amb coneixements previs, de manera que, com més coneixements previs es relacionin amb el nou coneixement, més connexions es realitzaran. Com més connexions es facin entre el nou coneixement i els coneixements previs, més probable serà que l'individu recordi i pugui fer servir el nou coneixement. Això no obstant, com que aquestes connexions es realitzen sempre amb coneixements previs, qualsevol aplicació del coneixement en entorns nous requereix l'establiment de noves connexions neuronals.

Provenim de plans d'estudis centrats en l'adquisició del coneixement, que deixen en mans dels mateixos estudiants la capacitat de lligar aquests coneixements entre ells i en (les futures) mans de l'empresa, aprendre a actuar de manera professional. Si no s'ensenyen aquestes habilitats i actituds, l'estudiantat posa molts cops el coneixement en caixes estanques, sense relacionar-lo, o simplement no entén per què s'estan fent certes coses, no sap interpretar-les o actuar amb la rigurositat i la responsabilitat que se li demanaran com a professional. Llavors tindrà com a objectiu superar l'assignatura i no aprendre, veient-se encara com a «estudiant» i no com a «professional».

Tot el que hem comentat s'aplica a les competències tècniques (pròpies de cada enginyeria), però no s'han d'oblidar les competències professionals, com ara el treball en equip, la comunicació, el disseny social i ecològicament responsable, l'emprenedoria, etcètera.

3. Els futurs plans d'estudis d'enginyeria

Actualment, els esforços en la modificació dels plans d'estudis en enginyeria s'enfoquen en els punts següents: 1) repensar l'avaluació; 2) repensar l'acreditació per fer-la més adaptativa; 3) cercar nous mètodes pedagògics efectius en l'aprenentatge de l'enginyeria, i 4) invertir el pla d'estudis per treballar més aspectes d'enginyeria des del principi dels plans d'estudis i en entorns multidisciplinaris.

3.1. Repensar l'avaluació

Avaluar una competència va molt més enllà d'avaluar un coneixement. S'ha d'avaluar si se sap utilitzar el coneixement en un entorn, d'una manera complexa i actuant professionalment. Un examen de tres hores només pot avaluar el nivell més bàsic. Només projectes de certa envergadura permeten avaluar l'adquisició d'una competència a un determinat nivell. Aquesta avaluació requereix mètodes docents com l'aprenentatge basat en projectes o l'aprenentatge basat en reptes, dels quals parlarem en la secció 3.3.

En qualsevol cas, l'avaluació ha de ser coherent. El principi d'alineament de Biggs indica que l'estudiantat hauria de fer el mateix per aprovar que per aprendre (Biggs, 1996; Biggs i Tang, 2011) i que, en cas que no existeixi aquest alineament, l'estudiantat s'estima més dedicar els seus esforços a aprovar que a aprendre. Els futurs mètodes d'avaluació haurien de garantir l'aprenentatge de les competències al nivell desitjat.

3.2. Repensar les acreditacions

En un món tan canviant com l'actual, fora bo que l'estudiantat escollís el seu camí dins el que estudia en una titulació. Òbviament, sempre hauria d'adquirir les competències bàsiques que tota persona amb aquella titulació hauria de dominar, però sí que seria interessant que decidís quines competències addicionals vol adquirir i a quin nivell (més enllà d'unes especialitats que de vegades no evolucionen amb la realitat del mercat laboral). Per això, s'està parlant molt últimament de *microacreditacions* (Shields i Chugh, 2017), amb les quals una institució educativa reconeix l'adquisició de certes competències. Les microacreditacions no indiquen que una persona ha «assistit i aprofitat un curs amb un nom determinant», sinó que es descriuen les competències adquirides (i el nivell assolit) i la feina que ha desenvolupat la persona per tal d'adquirir aquesta acreditació. Aquesta informació pot ser molt interessant per a la gent que contracta aquesta persona. És una eina poc utilitzada de moment, però de la qual probablement sentirem a parlar molt en el futur.

3.3. Mètodes pedagògics

Dos dels mètodes pedagògics més utilitzats en enginyeria són l'aprenentatge basat en projectes (ABP) i l'aprenentatge basat en reptes (ABR). En el primer cas, es plantegen projectes a desenvolupar (habitualment d'una envergadura mitjana) que no tenen per què ser d'una assignatura, sinó que poden relacionar diverses assignatures (competències, de fet) o, fins i tot, ser multidisciplinaris. En el cas dels reptes, tenim quelcom menys estructurat en la seva definició que un projecte. Es descriu una situació, un repte que s'ha de solucionar, en general en equips multidisciplinaris (per exemple, un equip format per estudiants de medicina i d'informàtica o un de format per estudiants d'enginyeria industrial i enginyeria aeroespacial), que han de col·laborar per portar endavant el repte. Hi ha universitats que s'hi han especialitzat, com la Universitat d'Aalto (Finlàndia), on tots els estudis utilitzen ABP com a metodologia educativa, o l'Institut Tecnològic i d'Estudis Superiors de Monterrey (Mèxic), on la metodologia és l'ABR.

Hi ha altres mètodes com l'aprenentatge servei (ApS), que es basa en la idea que, donat que per aprendre una persona realitza un esforç significatiu, podria aprofitar-lo de manera que la pràctica, o projecte resultant, fos útil per a la societat (moltes vegades se centra en els sectors més desafavorits). Això fa que aquesta persona faci un aprenentatge en un projecte real, amb les restriccions que això implica, i estigui altament motivada perquè veu com el seu esforç suposa una millora per a la gent i la societat. En l'entorn d'enginyeria, l'ApS de vegades és anomenat EPICS (*engineering projects in community service*).

Altres mètodes com l'estudi de casos o la classe inversa (*flipped classroom*) en el fons han format part de l'ensenyament de l'enginyeria des de fa anys. Fins i tot abans que es formalitzessin i rebessin un nom. El que sí que tenen totes aquestes metodologies en comú és que busquen estudiantat actiu, no la típica persona passiva que escolta una lliçó magistral. Tenir persones motivades, curioses, que dissenyen artefactes i solucionen problemes és el principi mateix de l'enginyeria. Per això, la nova tendència va cap a augmentar el pes dels mètodes d'enginyeria a primers cursos.

3.4. Invertir el pla d'estudis

Com hem dit anteriorment, la recerca actual planteja la necessitat d'invertir el sistema basat en uns primers cursos molt teòrics (en els quals s'aprenen les bases científiques) i en què els mètodes d'enginyeria es plantegen als últims cursos.

La idea subjacent és que tenir dos cursos teòrics al començament dels estudis, quan s'aprenen les bases científiques i matemàtiques que es faran servir després, no és el millor plantejament. Aquestes bases científiques resulten poc motivadores si no es té clar com es faran servir més

endavant (contextualització), i poden convertir l'estudiant en persones calculistes, és a dir, persones que saben com obtenir un resultat, però que, al mateix temps, no saben interpretar-lo o veure quin mètode utilitzar depenent del problema.

La inversió del pla d'estudis proposa començar per les bases de l'enginyeria: el disseny, la solució de problemes, l'organització de projectes, les proves de concepte, etcètera. I incorporar la física, la química, les matemàtiques... en el moment que són requerides per solucionar problemes, de manera que, contextualitzades, són apreses més ràpid i en profunditat, lligant conceptes, aprenent a interpretar resultats i a buscar alternatives.

Les dues universitats líders en educació de l'enginyeria, que són el MIT i l'Olin College of Engineering (Graham, 2018), estan avançant en aquest camí. L'experiència de l'Olin i el Purdue Polytechnic Institute es pot trobar en el llibre de Goldberg i Somerville (2016). Els resultats indiquen que no només els titulats tenen un alt nivell de coneixements tècnics i científics, sinó que sobresurten en habilitats com motivació, identitat, creativitat, resiliència, pensament crític, pensament computacional i disseny.

4. Conclusions

Després de diversos canvis en els plans d'estudis de les enginyeries provocats per situacions observades i no desitjades, estem en un punt en què la maduresa de la recerca en educació de l'enginyeria està permetent proposar i avaluar canvis com no s'havia pogut fer mai abans. Els propers anys veurem, probablement, un canvi profund en la manera d'ensenyar i aprendre enginyeria, sempre mantenint les bases de coneixement i rigor que han caracteritzat aquests estudis. Estem vivint, realment, temps molt interessants.

Bibliografia

- ACCREDITATION BOARD FOR ENGINEERING AND TECHNOLOGY (ABET) (2021). *Criteria for accrediting engineering programs: Accreditation board for engineering and technology* [en línia]. <<https://www.abet.org/accreditation/accreditation-criteria/criteria-for-accrediting-engineering-programs-2022-2023/>> [Consulta: 25 octubre 2022].
- ASSOCIATION FOR COMPUTING MACHINERY (ACM); INSTITUTE OF ELECTRICAL AND ELECTRONICS ENGINEERS (IEEE) (2020). *Computing curricula 2020* [en línia]. <<https://www.acm.org/binaries/content/assets/education/curricula-recommendations/cc2020.pdf>> [Consulta: 25 octubre 2022].
- BERGGREN, K. F.; BRODEUR, D.; CRAWLEY, E. F.; INGEMARSSON, I.; LITANT, W. T.; MALMOVIST, J.; ÖSTLUND, S. (2003). «CDIO: An international initiative for reforming engineering education». *World Transactions on Engineering and Technology Education* [en línia], vol. 2, núm. 1, p. 49-52. <https://scholar.google.com/scholar?hl=ca&as_sdt=0%2C5&q=An+international+initiative+for+reforming+engineering+education&btnG=#:~:text=inclou%20cites-,%5BPDF%5D%20cdio.org,-%5BPDF%5D%20CDIO> [Consulta: 25 octubre 2022].
- BIGGS, J. (1996). «Enhancing teaching through constructive alignment». *Higher Education*, vol. 32, núm. 3, p. 347-364. <<https://doi.org/10.1007/BF00138871>>.
- BIGGS, J.; TANG, C. (2011). *Teaching for quality learning at university*. 4a ed. Buckingham: SRHE: Open University Press.
- BORREGO, M. (2007). «Conceptual difficulties experienced by trained engineers learning educational research methods». *Journal of Engineering Education*, vol. 96, núm. 2, p. 91-102. <<https://doi.org/10.1002/j.2168-9830.2007.tb00920.x>>.
- CANADIAN ENGINEERING ACCREDITATION BOARD (CEAB) (2021). *Accreditation criteria and procedures* [en línia]. <<https://engineerscanada.ca/sites/default/files/2021-11/2021%20Accreditation%20Criteria%20Book%20Word.pdf>> [Consulta: 25 octubre 2022].
- CRAWLEY, E. F. (2001). *CDIO syllabus* [en línia]. Massachusetts: MIT. <<http://www.cdio.org/>> [Consulta: 25 octubre 2022].
- EUROPEAN NETWORK FOR ACCREDITATION OF ENGINEERING EDUCATION (ENAAE) (2021). *EUR-ACE framework standards* [en línia]. <<https://www.enaee.eu/eur-ace-system/standards-and-guidelines/#standards-and-guidelines-for-accreditation-of-engineering-programmes>> [Consulta: 25 octubre 2022].
- FROYD, J. E.; WANKAT, P. C.; SMITH, K. A. (2012). «Five major shifts in 100 years of engineering education». *Proceedings of the IEEE, 100. Special Centennial Issue*, p. 1344-1360. <<https://www.doi.org/10.1109/JPROC.2012.2190167>>.
- GOLDBERG, D. E.; SOMERVILLE, M. (2016). *A whole new engineer: The coming revolution in engineering education*. Douglas, Michigan: ThreeJoy Associates Inc.
- GONZÁLEZ, J.; WAGENAAR, R. (2006). *Una introducción a Tuning Educational Structures in Europe: La contribución de las universidades al proceso de Bolonia* [en línia]. Socrates Tempus, p. 3-5. <https://www.unideusto.org/tuningeu/images/stories/documents/General_Brochure_Spanish_version.pdf> [Consulta: 25 octubre 2022].
- GRAHAM, R. (2018). *The global state of the art in engineering education* [en línia]. Massachusetts: MIT. <http://neet.mit.edu/wp-content/uploads/2018/03/MIT_NEET_GlobalStateEngineeringEducation2018.pdf> [Consulta: 25 octubre 2022].
- KERR, A. D.; PIPES, R. B. (1987). «Why we need hands-on engineering education». *Technology Review*, vol. 90, núm. 7, p. 23-28. <<https://doi.org/10.1557/S0883769400064381>>.
- PRADOS, J. W.; PETERSON, G. D.; LATTUCA, L. R. (2005). «Quality assurance of engineering education through accreditation: The impact of Engineering Criteria 2000 and its global influence». *Journal of Engineering Education*, vol. 94, núm. 1, p. 165-184. <<https://doi.org/10.1002/j.2168-9830.2005.tb00836.x>>.
- RUIZ MARTÍN, H. (2020.). *¿Cómo aprendemos?: Una aproximación científica al aprendizaje y la enseñanza*. Barcelona: Graó.

- SEELY, B. E. (1999). «The other re-engineering of engineering education, 1900-1965». *Journal of Engineering Education*, vol. 88, núm. 3, p. 285-294. <<https://doi.org/10.1002/j.2168-9830.1999.tb00449.x>>.
- SHEPPARD, S. D.; JENISON, R. (1997). «Freshman engineering design experiences: An organizational framework». *International Journal of Engineering Education* [en línia], vol. 13, núm. 3, p. 190-197. <<http://www-adl.stanford.edu/images/Dissection/freshdes.pdf>> [Consulta: 8 febrer 2023].
- SHIELDS, R.; CHUGH, R.(2017). «Digital badges - rewards for learning?». *Education and Information Technologies*, vol. 22, núm. 4, p. 1817-1824. <<https://doi.org/10.1007/s10639-016-9521-x>>.
- STREVELER, R. A.; SMITH, K. A. (2006). «Conducting rigorous research in engineering education». *Journal of Engineering Education*, vol. 95, núm. 2, p. 103-105. <<https://doi.org/10.1002/j.2168-9830.2006.tb00882.x>>.