



**JORNADA DE PRESENTACIÓ DE RESULTATS DELS PROJECTES DE MILLORA DE LA DOCÈNCIA
2008****ADAPTACIÓ DE L'ENSENYAMENT SEMIPRESENCIAL DELS
MÈTODES NUMÈRICS DINS DEL MARC DEL SISTEMA ECTS**

*Josep Sarrate, Antonio Rodríguez-Ferran, Sonia Fernández-Méndez,
Rubén Sevilla, Oriol Rozados, Pedro Díez i Antonio Huerta*

Laboratori de Càlcul Numèric
Departament de Matemàtica Aplicada III
Universitat Politècnica de Catalunya

Tipus d'ajut rebut: UPC_2005_2007

Resum

En l'actualitat els mètodes numèrics s'han consolidat com una disciplina horitzontal en l'àmbit de l'enginyeria civil. En aquest sentit, les assignatures bàsiques relacionades directament amb els mètodes numèrics han de proporcionar les eines numèriques bàsiques que qualsevol enginyer pot necessitar en el seu futur professional, independentment de la seva posterior especialització. Per tant, en aquest projecte s'ha modificat el format clàssic d'aquestes assignatures, en el que es trien uns quants problemes matemàtics d'interès i es presenten els mètodes per solucionar-les. Pel contrari, s'ha adoptat una anàlisi més global en el que es presenten una sèrie de problemes d'enginyeria i a partir d'ells es motiva, es presenten i s'analitzen no només els mètodes numèrics sinó també els aspectes més rellevants de la modelització numèrica.

A la pràctica s'ha adoptat un format en el que intervenen exposicions teòriques, debats i sessions dirigides en aula informàtica. Per tant, s'ha desenvolupat un seguit de material pedagògic que va des de presentacions fins als guions corresponents a les sessions dirigides. Un dels aspectes més innovadors ha estat la inclusió d'una col·lecció de treballs tutelats que els estudiants han de realitzar en grups i guiats per un professor. Quan els estudiants han finalitzat el treball han de presentar (1) un informe on es detallen i justifiquen les aproximacions realitzades així com els mètodes numèrics utilitzats en la seva resolució; (2) un pòster de format i mides predeterminades on es presenten els resultats obtinguts; i (3) la presentació del pòster, en un temps prèviament limitat, davant la resta d'estudiants de la classe al llarg d'unes sessions especials que s'organitzen al final del curs.

Paraules clau

Mètodes numèrics, ensenyament semipresencial, sistema ECTS.

1. Introducció

All llarg de les darreres dècades s'ha posat de manifest un canvi important en les capacitats que qualsevol empresa espera d'un enginyer acabat de titular. Concretament, les empreses avui en dia valoren tan les seves capacitats específiques com les seves capacitats transversals, com ara el treball cooperatiu, la capacitat d'expressió oral i escrita, la iniciativa, la gestió de projectes, la creativitat, etc... Per tal de fomentar i potenciar aquestes capacitats des de diferents entorns s'han proposat diverses estratègies pedagògiques com ara l'ensenyament basat en el mètode del cas [4,5,6], el portafolio de l'estudiant [1] o l'ensenyament semipresencial [3], entre altres. Totes aquestes metodologies presenten els seus pros i contres. En aquest treball es presenta una proposta per tal de millorar el procés d'aprenentatge dels estudiants en assignatures directament relacionades amb els mètodes numèrics. Per tal d'aconseguir-ho s'han adaptat diferents aportacions d'aquestes metodologies en una única proposta. Així per exemple, partint de la idea que l'aprenentatge basat en exemples i en casos reals fomenta la curiositat i el desenvolupament de capacitats que permeten a l'estudiant descobrir els conceptes importants que cal estudiar, s'han configurat una sèrie d'actuacions que han modificat completament l'ensenyament dels mètodes numèrics en l'entorn del nostre departament.

En aquest sentit, s'ha modificat també el plantejament de les assignatures. En general, el seu objectiu bàsic es proporcionar les eines bàsiques que qualsevol enginyer o llicenciat en matemàtiques pot necessitar en el seu futur professional, independentment de la seva possible especialització. Tradicionalment, per tal d'assolir aquest objectiu s'ha utilitzat un format clàssic en el que es trien alguns exemples matemàtics i es plantegen diferents mètodes per tal de resoldre'ls. En aquest treball nosaltres preferim un plantejament més global en el que els mètodes numèrics són un pas més en el procés de la modelització numèrica de problemes en ciències aplicades i enginyeria [2].

1.1 Motivació del projecte

Els membres de l'equip docent imparteixen la seva docència en diverses assignatures relacionades directament amb els mètodes numèrics. Aquestes assignatures pertanyen a les tres titulacions següents:

- Enginyeria de Camins, Canals i Ports
- Enginyeria Geològica
- Llicenciatura en Matemàtiques

Cal remarcar que mentre la primera i la tercera titulacions són impartides per la Universitat Politècnica de Catalunya, la titulació d'Enginyeria Geològica s'imparteix conjuntament entre la Universitat Politècnica de Catalunya i la Universitat de Barcelona.

Abans del començament del projecte aquesta docència era bàsicament presencial i s'impartia tant en aules tradicionals com en aules informàtiques. Tanmateix, el debat generat per la possible entrada en vigor de l'Espai

Europeu d'Educació Superior i l'adopció del sistema ECTS (amb totes les seves implicacions) com a mesura de la càrrega lectiva de les assignatures posaven de manifest que la concepció, la metodologia i el material docent d'aquestes assignatures s'havia de modificar substancialment. En aquest sentit calia:

- potenciar la participació activa dels estudiants en el procés d'aprenentatge;
- desenvolupar un material docent específic que promogué i facilités l'autoaprenentatge;
- crear unes sessions dirigides que servissin al professor no sols d'exemples sinó també d'introducció i motivació de cada un dels diferents temes de les assignatures;
- generar uns treballs tutelats orientats al cas d'interès en enginyeria civil i en matemàtica aplicada que fomentessin l'interès, la participació i l'assistència a les sessions dels estudiants.

Cal ressaltar que la generació de les sessions dirigides i dels treballs tutelats es podia aprofitar per tal de potenciar altres capacitats transversals com ara el treball corporatiu o les habilitats de presentació oral.

1.2 Àmbit d'aplicació del projecte

L'actuació principal desenvolupada en aquest projecte s'ha centrat en les tres següents assignatures:

- Mètodes Numèrics II. Assignatura obligatòria de quart curs de la titulació d'Enginyeria de Camins, Canals i Ports.
- Càlcul Numèric. Assignatura obligatòria de tercer curs de la titulació d'Enginyeria Geològica.
- Anàlisi Numèrica. Assignatura optativa de la Llicenciatura de Matemàtiques. Els estudiants la trien quan es matriculen de tercer o quart curs.

S'ha realitzat aquesta elecció per que es tracta de tres assignatures força diferents. En aquest sentit cal ressaltar que totes les assignatures pertanyen a diferents cursos d'una titulació superior. Per altra banda, mentre que les dues primeres assignatures són obligatòries, la tercera és optativa. El nivell de coneixements de programació dels estudiants quan comencen cada una de les assignatures també és diferent. Mentre que en la primera i la tercera (Mètodes Numèrics II i Anàlisi Numèrica) els estudiants ja han cursat altres assignatures on han après les tècniques bàsiques de programació, la segona assignatura (Càlcul Numèric) representa el primer contacte dels estudiants d'Enginyeria Geològica amb la programació. El mateix es pot afirmar en el que fa referència als coneixements de mètodes numèrics. Així, mentre que els estudiants de Mètodes Numèrics II i Anàlisi Numèrica ja han cursat alguna assignatura relacionada directament amb aquesta temàtica, els estudiants de Càlcul Numèric cursaran per primera vegada una assignatura d'aquesta temàtica. Per últim cal ressaltar que mentre

l'assignatura de Mètodes Numèrics II es una assignatura anual, les assignatures de Càlcul Numèric i Anàlisi Numèrica són quadrimestrals.

1.3 Objectius del projecte

La finalitat d'aquest projecte és doble. Per una banda, es pretén adaptar l'ensenyament dels mètodes numèrics a l'Espai Europeu d'Educació Superior i a les metodologies d'ensenyament i avaluació que implica el sistema ECTS. Per altra banda, es vol aprofitar aquest canvi per tal de millorar la formació global dels estudiants. Concretament, es pretén incrementar les seves capacitats transversals com ara l'autoaprenentatge, el treball cooperatiu o l'expressió oral.

Per tal d'assolir aquests objectius s'han definit tres actuacions que constitueixen bàsicament la principal aportació d'aquest treball. Aquestes actuacions són:

- **ACTUACIÓ 1.** Generar el material docent bàsic corresponent a la presentació dels continguts de l'assignatura (apunts, presentacions, animacions,...). Tot aquest material estarà en format digital per tal de facilitar l'accés dels estudiants. Amb aquest material es pretén facilitar el treball individual de l'estudiant, incrementant així la seva capacitat d'autoaprenentatge. Cal ressaltar que el sistema ECTS contempla explícitament el treball individual realitzat per l'estudiant.
- **ACTUACIÓ 2.** Generar una col·lecció de sessions dirigides i d'una metodologia a seguir. Aquestes sessions dirigides es realitzen de forma presencial, generalment en aules informàtiques. Contenen la presentació d'aplicacions dels mètodes numèrics a la modelització i resolució de problemes pràctics en enginyeria i matemàtica aplicada. A més, han de suggerir possibles maneres de resoldre aquests problemes i aportar elements que relacionin la seva resolució amb els temes que es tracten a les assignatures. En la majoria de casos també inclouran la implementació de mètodes numèrics en programes d'ordinador i han de permetre la introducció gradual de tècniques numèriques i de programació específiques. El disseny d'aquestes sessions servirà per motivar el tema a analitzar i fomentar un esperit crític, tant pel que fa a l'aplicabilitat dels mètodes com a l'anàlisi dels resultats. Aquestes sessions dirigides han de permetre augmentar la motivació de l'estudiant per les aplicacions numèriques en l'àmbit de l'enginyeria i de la matemàtica aplicada.
- **ACTUACIÓ 3.** Disposar d'una col·lecció de treballs tutelats i d'una metodologia a seguir. Aquests treballs contenen el plantejament d'un problema d'enginyeria que requereix l'aplicació de mètodes numèrics per a la seva resolució. Els estudiants l'han de resoldre treballant en grups de tres persones. A diferència de les sessions dirigides, aquests treballs no es realitzen en una aula. Tanmateix, durant el procés de resolució seran tutelats pel professor a fi de discutir i comentar els diferents aspectes. En la seva execució es designarà un director del grup que actuarà com a coordinador del grup i designarà i valorarà les tasques a fer per cada membre. Els membres del grup valoraran el

treball fet pel director i mostraran el nivell de consens amb les valoracions i tasques realitzades. Finalment, cada grup lliurarà un informe. Mitjançant les tutories es vol potenciar un esperit crític pel que fa a la tria i aplicabilitat dels diferents mètodes numèrics així com la interpretació dels resultats obtinguts. Aquests treballs han de permetre augmentar la motivació de l'estudiant per les aplicacions numèriques en l'àmbit de l'enginyeria i de la matemàtica aplicada i incrementar les seves habilitats en el treball corporatiu i presentació oral.

2. Descripció

En aquesta secció es presenten detalladament un exemple de sessió dirigida i un exemple de treball tutelat.

2.1 Exemple de sessió dirigida

En aquesta secció es presenta de forma resumida un exemple de sessió dirigida per tal de motivar i analitzar el mètode de Newton per trobar les solucions d'una equació no lineal.

Amb aquest objectiu es planteja que per regar tota una superfície d'arbres fruiters, fa deu anys es va construir un canal de formigó amb la intenció que transportés un cabal d'aigua de $10 \text{ m}^3/\text{s}$. El canal és de secció trapezoïdal i té una base de 4 m, una alçada de 1.50 m i les seves parets laterals tenen una inclinació de 60° , tal i com es veu a la Figura 1. En la longitud del canal a estudiar, aquest té un pendent constant i igual a 0.001 (en tant per 1).

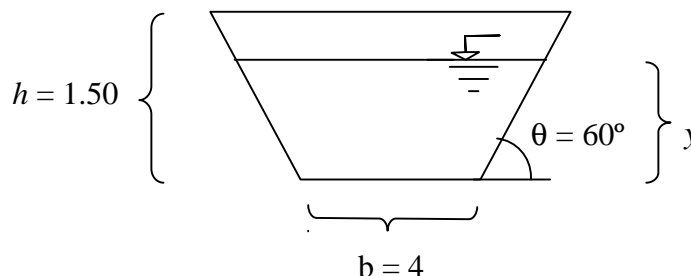


Figura 1. Secció del canal.

Rep el nom de calat (representat amb la lletra y) l'alçada de la làmina d'aigua respecte el fons del canal. Poc després de la seva entrada en funcionament, es va mesurar el seu calat i el cabal que transportava i es va obtenir que eren de 1.02 m i $10 \text{ m}^3/\text{s}$, respectivament. El resguard del canal és la diferència entre l'alçada d'aquest i l'alçada de la làmina d'aigua, $h-y$.

L'equació que relaciona el cabal transportat en un canal amb el seu calat és la fórmula de Manning:

$$Q = \frac{1}{n} \cdot A \cdot R_h^{2/3} \cdot I^{1/2} \quad [1]$$

on Q és el cabal transportat (en m^3/s), n una constant que rep el nom de coeficient de Manning, A és l'àrea mullada de la secció del canal (en m^2), R_h és el radi hidràulic i I el pendent motriu del canal.

Seguidament, i d'acord amb el guió, es repassen els conceptes de radi hidràulic i àrea mullada d'un canal. Així mateix, s'argumenta que la longitud del canal és suficientment gran com per admetre que el canal funciona en règim uniforme en tota la seva longitud. Per tant, es posa de manifest que en aquest cas el pendent motriu, I , coincideix amb el pendent del canal, i .

Tenint en compte les característiques geomètriques d'aquest canal en concret, la fórmula de Manning queda de la següent manera:

$$Q = \frac{\sqrt{i}}{n} \cdot \left[\frac{\left(y \cdot \left(b + \frac{y}{\tan \alpha} \right) \right)^5}{\left(b + \frac{2y}{\sin \alpha} \right)^2} \right]^{1/3} \quad [2]$$

El coeficient de Manning depèn de la rugositat de les parets del canal, i dóna una idea de la resistència al pas de l'aigua que aquest ofereix (una mena de fregament). El canal es va construir amb un formigó de molt bona qualitat que tenia un coeficient de Manning de 0.015. Degut al pas del temps el formigó s'ha degradat molt i ara té un coeficient de Manning de 0.020.

En aquest moment es fa una reflexió per tal d'analitzar la influència del coeficient de Manning en aquest problema. Amb aquest objectiu es generen, utilitzant Matlab, les corbes de capacitat del canal (cabals en absisses i calats en ordenades) pels diferents coeficients de Manning.

Seguidament es planteja el problema del manteniment del canal. Per exemple, si el formigó es degradés més de forma que el coeficient de Manning valgués 0.030, podria aquest canal portar un cabal $10 \text{ m}^3/\text{s}$? En cas negatiu, quina hauria de ser l'alçada mínima del canal per poder portar aquest cabal? Per tal de resoldre aquest problema cal trobar l'arrel de l'equació [1]. Aquest fet dóna peu a introduir els diferents mètodes.

Cal ressaltar que aquest problema permet analitzar d'altres aspectes com ara:

- Són lògiques les unitats utilitzades en aquest exemple? Cal remarcar que els estudiants ja han cursat o estan cursant l'assignatura d'Hidràulica i que per tant poden verificar la validesa de les dades en canals reals.
- Com es tria l'aproximació inicial? En aquest sentit es suggereix que es poden utilitzar les corbes de capacitat del canal generades anteriorment.
- Quines són les unitats en que s'han d'expressar l'angle θ en l'expressió [2]?

2.2 Exemple de treball tutelat

En aquesta apartat es presenta de forma resumida un exemple de treball tutelat per tal de motivar la utilització dels mètodes numèrics en la solució d'un problema d'enginyeria real. El treball escollit és l'*anàlisi de les oscil·lacions en una xemeneia d'equilibri*.

L'enunciat del treball tutelat comença amb una breu descripció dels objectius. A continuació es presenta en detall el problema d'enginyeria, que consisteix en descriure el funcionament d'una instal·lació molt habitual en salts hidroelèctrics amb derivació en pressió: la xemeneia d'equilibri. La funció d'aquesta construcció és alleugerir les sobrepressions generades a la galeria de pressió, causades per un tancament sobtat de la vàlvula d'admissió de la turbina, veure Figura 2.

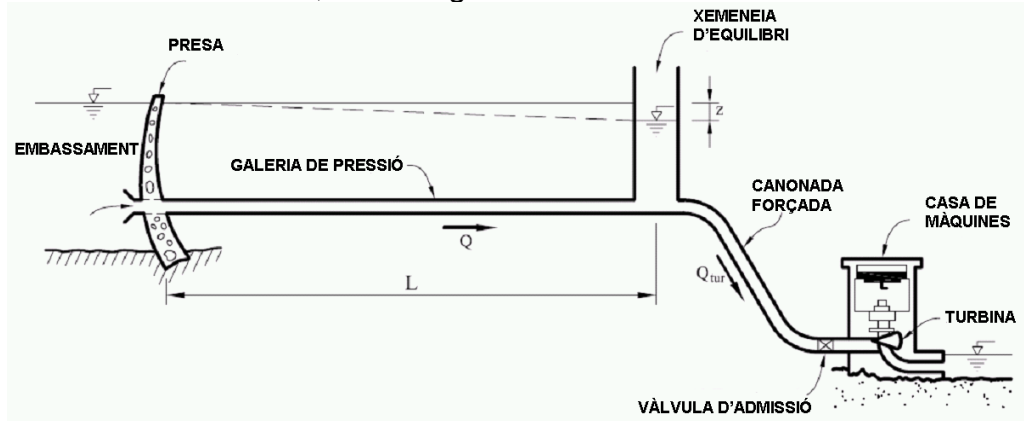


Figura 2. Esquema d'un aprofitament hidroelèctric dotat d'una xemeneia d'equilibri.

La descripció del problema d'enginyeria es complementa amb esquemes com el de la Figura 2, referències bibliogràfiques i il·lustracions d'una galeria de pressió i les xemeneies d'equilibri que es troben a una instal·lació hidroelèctrica real. És important destacar que tots els treballs tutelats parteixen d'un problema d'enginyeria real i a l'enunciat es donen exemples on aquestes solucions de l'enginyeria han estat adoptades.

A continuació es planteja de forma constructiva el problema matemàtic. Les equacions de govern es van introduir de manera progressiva comentant el seu significat físic i les hipòtesis simplificatives que s'assumeixen. En aquest treball es considera que l'aigua es comporta com un fluid incompressible i que les parets de la galeria de pressió són rígides, entre d'altres simplificacions.

Si anomenem Q el cabal que circula per la conducció i z la diferència de cota entre el nivell de la xemeneia i el nivell de l'embassament, les equacions de govern són l'equació dinàmica i l'equació de continuïtat, que formen el sistema no lineal de dues equacions diferencials de primer ordre

$$\frac{L}{gA_p} \frac{dQ}{dt} = -z(t) - k|Q(t)|Q(t)$$

$$\frac{dz}{dt} = \frac{Q(t) - Q_{tur}(t)}{A_c}$$

on t és el temps des del començament de la maniobra de tancament, Q_{tur} el cabal de turbinat, g la constant gravitatòria, L i A_p la longitud i l'àrea de la secció de la galeria de pressió, k un coeficient de pèrdua de càrrega a la galeria de pressió, i A_c l'àrea de la secció de la xemeneia. Les condicions inicials són

$$Q(0) = Q_0$$

$$z(0) = -kQ_0$$

En aquest punt es discuteix la dificultat introduïda en considerar la pèrdua de càrrega a la galeria de pressió (es a dir, $k \neq 0$), fent inviable la resolució del problema mitjançant tècniques analítiques i, per tant, fent necessari l'ús de tècniques numèriques. Tot i així, s'exposa en detall una solució analítica simplificada, només vàlida quan el tancament de la turbina es produeix de manera sobtada ($Q_{tur}=0$) i que ofereix les amplituds màximes de les oscil·lacions a la xemeneia d'equilibri. L'objectiu d'introduir aquesta solució aproximada és doble. D'una banda, ofereix la possibilitat de validar els resultats numèrics en situacions senzilles i, d'altra banda, introdueix un altre problema numèric: la solució d'una família de problemes de zeros de funcions mitjançant tècniques numèriques.

Es demana obtenir la història de les oscil·lacions a la xemeneia d'equilibri per a un conjunt de paràmetres corresponents a una determinada instal·lació hidroelèctrica. Aquests resultats numèrics han de ser contrastats amb la solució analítica simplificada de cara a determinar la bondat dels resultats. Tots els resultats presentats han d'estar justificats i analitzats críticament.

La tutorització del treball requereix dos tipus d'accions. En primer lloc es requereix una acció global durant la primera etapa del treball que consisteix en el lliurament de dues fitxes de seguiment. Els estudiants omplen la primera fitxa de seguiment un mes després de rebre l'enunciat. L'objectiu d'aquesta fitxa és garantir una correcta assimilació de l'enunciat i identificar les connexions amb d'altres assignatures de la titulació involucrades en el desenvolupament del treball. Tres mesos després els estudiants omplen la segona fitxa de seguiment. L'objectiu és garantir la correcta elecció de les famílies de mètodes numèrics més escaients per a la resolució del problema d'enginyeria. En aquesta fitxa els estudiants han de descriure les consultes bibliogràfiques realitzades i la informació més destacada que han extret. És important destacar que la bibliografia del treball tutelat contempla referències bàsiques del problema d'enginyeria i de mètodes numèrics, i articles científics en revistes d'enginyeria.

En segon lloc es requereix una acció personalitzada durant tot el curs. Aquesta tutorització abasta des de la discussió i assimilació de l'enunciat durant la primera etapa, fins a la discussió dels mètodes numèrics més adequats per a cada problema, passant per la implementació eficient dels mètodes numèrics escollits.

Finalment, cal remarcar que els treballs tutelats corresponen a la solució de problemes d'enginyeria reals. D'aquesta manera, a la col·lecció de treballs tutelats trobem un mateix problema amb certes característiques distintives que condueixen a solucions diferents. És a dir, relacionat amb el treball exposat en aquest apartat existeix un treball on es planteja la inviabilitat de construir una xemeneia d'equilibri quan el pendent del terreny no ho permet. Una solució alternativa que es planteja en aquestes situacions es la de construir una xemeneia d'equilibri amb un matalàs d'aire, tal i com es representa a la Figura 3.

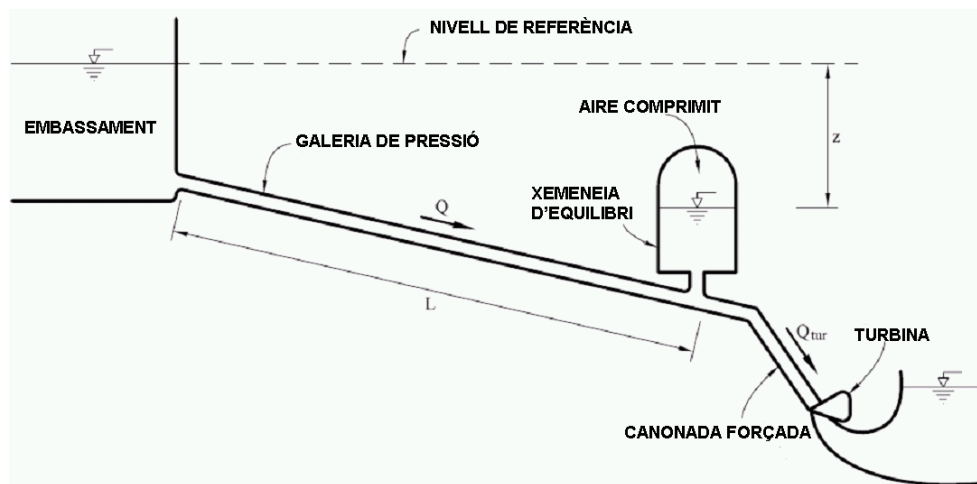


Figura 3. Esquema d'un aprofitament hidroelèctric dotat d'una xemeneia d'equilibri amb matalàs d'aire.

Aquesta necessitat d'obtenir solucions diferents a un mateix problema d'enginyeria en funció de múltiples factors, fomenta la discussió entre els estudiants de diferents grups i permet fer una discussió més àmplia en les sessions de presentació oral dels treballs.

3. Resultats

La metodologia presentada en aquest treball ha permès modificar considerablement la docència de les tres assignatures on s'ha aplicat. En particular cal remarcar que els estudiants han entès que per una banda els mètodes numèrics són una eina de gran valor per resoldre problemes en enginyeria. Per altra banda, la motivació que indueixen els exemples analitzats permet posar de manifest que el desenvolupament d'aquests mètodes es basa en uns sòlids fonaments matemàtics. Aquest darrer aspecte és de gran importància en la llicenciatura de Matemàtiques .

Un altre resultat important d'aquest projecte són les habilitats transversals adquirides pels estudiants. Concretament, la realització dels treballs tutelats

incrementen les seves capacitats d'organització, responsabilitat, treball en grup i presentació de resultats (tant oral com escrita).

Finalment, cal remarcar que en aquest projecte s'ha desenvolupat el material docent necessari per tal de promoure l'ensenyament semipresencial dels mètodes numèrics. Concretament, s'han desenvolupat més de quaranta presentacions o animacions, quaranta sessions dirigides i cinquanta treballs tutelats.

4. Conclusions

En aquest treball s'ha presentat una metodologia per tal d'adaptar l'ensenyament dels mètodes numèrics al marc descrit per l'Espai Europeu d'Educació Superior i l'adopció del sistema ECTS com a mesura de la carrega docent. L'aportació més rellevant d'aquest projecte ha estat el desenvolupament d'una sèrie de sessions dirigides i treballs tutelats.

Respecte a les sessions pràctiques és molt important triar correctament l'exemple d'aplicació tot analitzant no només el seu interès pràctic sino també l'adequació als objectius que es volen aconseguir. Aquesta anàlisi permet decidir més fàcilment, per exemple, quines tasques es donen fetes i quines han de desenvolupar els estudiants o quines feines s'han de fer durant la sessió i quines les poden fer els estudiant individualment o en grups. També és important decidir el nombre d'estudiants que assisteixen a aquestes sessions. Degut a la capacitat de les aules informàtiques on s'ha realitzat aquestes sessions nosaltres hem limitat aquest nombre a uns 20 estudiants.

Respecte als treballs tutelats cal analitzar prèviament la viabilitat del treball que es proposa en relació tant amb el temps de resolució com amb els coneixements dels estudiants. Un dels aspectes fonamentals per l'èxit d'aquests treballs és el temps que els professors dediquen a la tutorització dels grups. En aquest sentit, nosaltres hem dedicat un únic professor a aquesta tasca. La dedicació mitja d'aquest treball ha estat d'unes 6 hores per setmana al llarg del segon quadrimestre.

La nostra experiència ens indica que el model podria ser transferible a altres assignatures relacionades amb els mètodes numèrics. En particular, considerem que la metodologia presentada en aquest treball és especialment adient per les assignatures com ara les corresponents a l'especialitat d'enginyeria computacional de la titulació d'Enginyeria de Camins, Canals i Ports de Barcelona o a la de matemàtica aplicada en la llicenciatura de Matemàtiques. Tanmateix, caldria revisar tant els problemes d'enginyeria que es volen utilitzar per tal de motivar i analitzar les diferents tècniques numèriques com el material de suport que es proporciona als estudiants.

5. Referències

[1] Agra, M.J. "El portafolios como herramienta de análisis en experiencias de formación on line y presenciales". En Enseñanza: Anuario

Interuniversitario de didáctica, nº 21, pp. 101-114. Universidad de Santiago de Compostela, 2003.

[2] Huerta A., Díez P., Fernández-Méndez S., Pérez-Foguet A., Rodríguez-Ferran A. i Sarrate J. "La ingeniería computacional en la escuela de caminos de Barcelona". Congreso internacional de enseñanza de la ingeniería civil. Ciudad Real, 2003.

[3] No J. "Planificación de la enseñanza semipresencial: una experiencia con posgrado» En: Las TIC en la universidad: estrategia y transformación institucional. Revista de Universidad y Sociedad del Conocimiento (RUSC). Vol. 2, núm. 1. UOC. 2005

[4] Roberts, M. Developing a teaching case. Technical Note. Harvard Business School, 1999.

[5] Sanz P., de Benito J.J., Araúzo J.A. i Del Olmo R. "Utilización del autoaprendizaje basado en métodos cooperativos para la enseñanza del marketing en carreras de ingeniería", X Congreso de Ingeniería de Organización, Valencia, 7 y 8 de septiembre, 2006.

[6] Wasserman S. "Estudio de casos como método de enseñanza", Amorrortu editores, 1999.