

TÈCNIQUES COMPUTACIONALS EN BIOMEDICINA (22109)

Titulació/estudi: grau en Enginyeria Biomèdica

Curs: 1r

Trimestre: 2n i 3er

Nombre de crèdits ECTS: 10 crèdits

Llengua o llengües de la docència: català i castellà (detalls a professorat)

Professorat:

El professor responsable (coordinador) de l'assignatura és l'Òscar Cámara (DTIC; teoria i seminaris 3er trimestre; català). A les classes magistrals, pràctiques i seminaris també hi intervindran Mohamed Sordo (DTIC; teoria 2n trimestre; castellà), David Soto (DTIC; pràctiques 2n trimestre; castellà), Daniel Romero (DTIC; seminaris 2n trimestre; castellà), Paula Rudenick (DTIC; pràctiques 3er trimestre; castellà).

1. Presentació de l'assignatura

L'assignatura "Tècniques Computacionals a la Biomedicina" és una assignatura semestral bàsica del primer curs del Grau d'Enginyeria Biomèdica de la Universitat Pompeu Fabra de Barcelona. Té 10 crèdits ECTS i consta de dos blocs independents: **Bloc 1 (Fonaments de la Programació 4 ECTS) i Bloc 2 (Introducció a la Programació del Mètode d'Elements Finitis 6 ECTS).**

BLOC 1

El bloc "Fonaments de la Programació" presenta a l'alumne les bases de l'algorísmica i estructura de dades per a poder desenvolupar programes de mida mitjana utilitzant el llenguatge C. Els estudiants no han de tenir coneixements previs sobre algorísmica i programació per realitzar aquest bloc.

Aquest bloc consta de 9 sessions de teoria, 4 de pràctiques i 5 de seminaris, totes d'una duració de dues hores. Aquestes sessions es fan conjuntament amb els altres graus TIC de l'ESUP, afavorint sinergies i comunicació entre els estudiants dels diferents graus.

A les sessions de seminaris els estudiants hauran de resoldre una sèrie d'exercicis petits posant en pràctica els conceptes i tècniques presentats a les sessions de teoria. Aquestes activitats es començaran a les aules amb ordinadors i s'hauran de completar fora de l'aula. En canvi, a les pràctiques s'hauran de resoldre problemes més complexos on els alumnes hauran de decidir quins conceptes i tècniques emprar a cada instant.

Al final de cada unitat didàctica hi hauran uns exercicis d'auto-avaluació mitjançant els quals l'estudiant pot comprovar si ha adquirit les competències que posteriorment s'avaluaran amb l'examen final.

Les classes magistrals d'aquest bloc seran impartides pel Mohamed Sordo, mentre que els seminaris seran coordinats pel Daniel Romero i les pràctiques pel David Soto.

BLOC 2

El bloc "Introducció a la Programació del Mètode d'Elements Finites" pretén continuar la introducció a la programació iniciada al Bloc 1, però aquest cop focalitzada a una aplicació bàsica a la modelització matemàtica de sistemes biomèdics. Així, en aquest bloc s'introduirà la teoria del Mètode d'Elements Finites per a la resolució d'equacions diferencials lineals en una, dues i tres dimensions que modelen sistemes a l'enginyeria biomèdica. La teoria serà aplicada per resoldre problemes utilitzant el Mètode d'Elements Finites (MEF) amb programes senzills realitzats pels estudiants (seminaris amb Matlab) o emprant un programari comercial típic (pràctiques amb ANSYS).

Aquest bloc consta de 11 sessions de teoria, 7 de pràctiques i 6 de seminaris, totes d'una duració de dues hores. Les sessions de seminaris es basaran en la programació del MEF per resoldre problemes senzills d'una i dues dimensions amb Matlab, tot iniciant els alumnes en aquest entorn de programació. Les sessions de pràctiques utilitzaran un programari comercial típicament emprat per les empreses de disseny per treballar amb MEF (aeronàutica, etc), ANSYS. L'estudiant es familiaritzarà amb aquest programari utilitzant-lo per analitzar problemes en una, dues i tres dimensions.

Aquesta assignatura és impartida pels professors Oscar Cámara (teoria i seminaris), mentre que les pràctiques seran coordinades per la Paula Rudenick.

2. Competències a assolir

BLOC 1

L'objectiu fonamental d'aquest Bloc 1 és que els alumnes adquireixin les bases de l'algorítmica i estructura de dades, així com que siguin capaços de desenvolupar programes de mida mitjana utilitzant el llenguatge C.

Específicament, les competències a treballar seran:

- Competències generals
 - Instrumentals
 - Capacitat de síntesi
 - Capacitat d'anàlisi
 - Sistèmiques
 - Capacitat per aplicar el coneixement a la pràctica
 - Interès per la qualitat
- Competències específiques
 - Capacitat per treballar amb eines de programació
 - Domini dels tipus de dades estàtics i compostos
 - Domini de les estructures de control
 - Capacitat de resolució de problemes mitjançant el disseny descendent
 - Capacitat de lectura (ràpida) de codi en C

BLOC 2

L'objectiu fonamental d'aquest Bloc 2 és que els alumnes adquireixin les bases de la teoria del MEF, així com que siguin capaços de programar-lo en un entorn acadèmic (Matlab) i d'utilitzar-lo en un programari típic comercial (ANSYS), per dissenyar i avaluar models de sistemes biomèdics.

Específicament, les competències a treballar seran:

- Competències generals
 - Interpersonals
 - Capacitat de treball en equip
 - Sistèmiques
 - Capacitat per aplicar el coneixement a la pràctica
 - Interès per la qualitat
 - Instrumentals
 - Capacitat d'organitzar i planificar
 - Habilitat per a la presa de decisions
 - Habilitat per a la cerca i gestió de la informació
 - Capacitat d'aplicar els coneixements a l'anàlisi de situacions i a la resolució de problemes
 - Capacitat de comunicació en contextos acadèmics i professionals amb propietat de forma oral i escrita en català i castellà, davant d'audiències expertes i inexpertes
- Competències específiques
 - Capacitat per a utilitzar programari d'ús comercial del mètode d'elements finits
 - Capacitat per a la resolució de problemes matemàtics que poden sorgir a la enginyeria amb aplicació de coneixements d'àlgebra lineal; geometria; geometria diferencial; càlcul diferencial i integral; equacions diferencials; mètodes numèrics i estadística.
 - Desenvolupar les habilitats per fer us d'eines informàtiques per a la implementació de models biològics i simulacions dels seus comportaments.
 - Capacitat d'utilitzar tècniques, habilitats i eines necessàries per a la pràctica de la enginyeria moderna.

3. Continguts

BLOC 1

TEMARI TEORIA

Tema 1. Introducció i conceptes generals

Breu història de la programació i els seus llenguatges i paradigmes. Mecanismes de compilació i interpretació. Diferència entre programa i algorisme

Tema 2. Tipus de dades bàsics

Variables i constants. Els diferents tipus de dades bàsics: tipus numèrics, caràcters, booleans.

Tema 3. Expressions, sentències i estructures de control

Formació d'expressions. Introducció a la lògica booleana. Sentències o instruccions: assignacions, operacions d'entrada i sortida; l'ordre de precedència dels operadors. Les estructures de control: les estructures condicionals, les estructures iteratives

Tema 4. La descomposició funcional i el disseny descendent

Disseny descendent. Declaració de funcions. Definició de paràmetres. Trucades a funcions i pas de paràmetres. El tipus "void".

Tema 5. Tipus de dades compostos estàtics

Arrays unidimensionals. Arrays multidimensionals. Strings o cadenes de caràcters. Estructures (structs).

Tema 6. Declaració de tipus propis

Els tipus de les estructures. Definició de tipus mitjançant "typedef". Conversions de tipus.

Tema 7. Els punters i la gestió dinàmica de la memòria

Declaració de punters. Operacions de direcció i indirecció. Assignació de valors a punters. El punter nul. Arrays i punters en C.

Tema 8. La descomposició funcional i el disseny descendent (segona part)

Pas de paràmetres per referència. La funció "main" i els seus arguments. Visibilitat i abast. Les llibreries i el pre-processor.

Tema 9. Fitxers de text

El tipus fitxer (FILE). Operacions amb fitxers (obrir, tancar, escriure, llegir). Entrada i sortida estàndard.

TEMARI SEMINARIS I PRÀCTIQUES

Seminari 1. Expressions i estructures de control condicionals i iteratives

Seminari 2. Disseny descendent i pas de paràmetres per valor.

Seminari 3. Tipus de dades compostos.

Seminari 4. Punters i pas de paràmetres per referència.

Seminari 5. Fitxers de text

Pràctica 1. Edició, compilació i execució d'un programa.

Pràctica 2. Programació en C de problemes mitjans (I). Avaluable.

Programar en C, utilitzant arrays, cadenes i estructures i en alguns casos, definint els propis tipus. S'haurà de realitzar una memòria explicativa del treball.

Pràctica 3. Programació en C de problemes mitjans (II). Avaluable.

Programar en C, utilitzant arrays, cadenes i estructures i en alguns casos, definint els propis tipus. S'haurà de realitzar una memòria explicativa del treball.

Pràctica 4. Programació en C utilitzant punters i pas de paràmetres per referència.

BLOC 2

TEMARI TEÒRIC

Tema 1. Introducció al Mètode d'Elements Finitos (MEF)

MEF com a solució a problemes d'enginyeria. Història. Aplicacions. Notació i formulació.

Tema 2. Introducció a Matlab

Què és Matlab? Llenguatge Matlab. Funcions. Scripts. Tipus. Vectors. Matrius. Operadors. Control de flux. Contenedors de dades. Càlcul simbòlic. Representació gràfica. Toolboxes. Estadística. Equacions diferencials.

Tema 3. Aproximació directa per sistemes discrets

Comportament d'un element de barra ("Bar") únic. Equacions per un sistema. Sistemes Encavallada ("Truss") de dues i tres dimensions.

Tema 4. Formulacions forta i feble per problemes unidimensionals

Formulació forta en problemes unidimensionals. Formulació feble en una dimensió. Continuïtat. Equivalència entre les formulacions forta i feble. Anàlisi de tensió ("Stress") unidimensional amb condicions de contorn arbitràries. Anàlisi de la conducció de calor unidimensional amb condicions de contorn arbitràries. Difusió-advecció. Energia potencial mínima. Integrabilitat.

Tema 5. Aproximació per solucions de prova, funcions de pes i de quadratura de Gauss per problemes unidimensionals

Element linear de dos nodes. Element unidimensional quadràtic. Construcció directa de les funcions de base d'una dimensió. Aproximació de les funcions de pes. Aproximació global i continuïtat. Quadratura de Gauss.

Tema 6. Formulació d'Elements Finites per problemes unidimensionals

Desenvolupament de l'equació discreta. Matrius dels elements per un element binodal. Aplicació a problemes de conducció i difusió tèrmiques. Desenvolupament de les equacions discretes per condicions de contorn arbitràries. Problemes de valors de contorn de dos punts amb condicions de contorn generalitzades. Convergència del MEF. MEF per a l'equació de difusió-advecció.

Tema 7. Formulacions forta i feble per problemes amb camps escalars multidimensionals

Teorema de la divergència i fórmula de Green. Formulació forta. Formulació feble. Equivalència entre les formulacions forta i feble. Generalització a problemes tridimensionals. Formulacions forta i feble de la difusió-advecció a l'estat estacionari escalar en dues dimensions.

Tema 8. Aproximació per solucions de prova, funcions de pes i de quadratura de Gauss per problemes multidimensionals

Completesa i continuïtat. Element triangular de tres nodes. Element rectangular de quatre nodes. Element quadrilàter de quatre nodes. Elements quadrilàter d'ordre elevat. Coordenades triangulars. Completesa dels elements isoparamètrics. Quadratura de Gauss en dues dimensions. Elements tridimensionals.

Tema 9. Formulació d'Elements Finites per problemes amb camps escalar multidimensionals

MEF per a problemes bidimensionals de conducció tèrmica. Verificació i validació. Equació de difusió-advecció.

Tema 10. MEF per problemes de camps de vectors – Elasticitat lineal.

Elasticitat lineal. Formulacions forta i feble. Discretització en elements finits. Element triangular de tres nodes. Generalització de les condicions de contorn. Equacions d'elasticitat lineal en tres dimensions

TEMARI SEMINARIS I PRÀCTIQUES

Els seminaris es centraran en l'ús pràctic de Matlab, començant per una introducció a les funcions bàsiques d'aquesta eina de programació i acabant amb l'aplicació de

Matlab per resoldre problemes del mètode d'elements finits (problemes senzills en 1D i 2D). Hi haurà 6 sessions de 2 hores i els alumnes hauran de fer un treball previ a cada sessió preparant-se una sèrie d'exercicis dels quals se'ls avaluarà durant la sessió de seminari. Alguns dels seminaris s'hauran de completar amb un informe dels exercicis realitzats.

Les pràctiques es realitzaran amb ANSYS i constaran de 7 sessions de 2 hores cadascuna. Després d'una introducció al programa veient les comandes més emprades, es realitzaran exemples senzills en 1D i 2D per fer diferents tipus d'anàlisi per elements finits (anàlisi estructural i tèrmic). Finalment es veurà un exemple 3D d'una aplicació del MEF en biomedicina, concretament per analitzar la dinàmica de fluids en un aneurisma.

4. Avaluació

La nota de l'assignatura serà proporcional al volum de crèdits dels blocs (40% pel Bloc 1 i 60% pel Bloc 2). Per poder fer la mitjana de notes entre els dos blocs es requereix una nota mínima de 5 en cadascun d'ells. En cas que un alumne no superi un dels blocs a la primera convocatòria, ha d'examinar-se d'aquell bloc exclusivament a la segona convocatòria.

Avaluació d'aprenentatges del Bloc 1

- Prova escrita de la part de teoria i seminaris (50% de la nota final): Aquesta prova escrita es centra en el bloc d'exercicis realitzats a les sessions d'exercicis del segon trimestre. El mètode d'avaluació consisteix a un examen tipus test al voltant de 20 preguntes amb 4 opcions per cada pregunta i només una resposta vàlida. Les preguntes seran extretes (amb lleugeres modificacions) de les propostes per les sessions d'exercicis i de les activitats d'auto-avaluació.
- Proves d'execució (pràctiques, 50% de la nota final). És obligatori fer les pràctiques per superar l'assignatura. La nota d'aquesta part s'obté amb les dues pràctiques lliurables. Cadascuna d'aquestes pràctiques té el mateix pes. A més a més, els professors podran revisar el progrés de la feina dels estudiants al llarg de les sessions. En el cas de que algun grup no passi aquesta revisió, s'haurà de fer una defensa de la pràctica amb posterioritat al seu lliurament.

A la sessió d'exercicis els professors aniran revisant el treball dels estudiants al llarg del trimestre i podran demanar lliurar un exercici al final de cada sessió. En funció d'aquestes revisions i lliurables, es podrà pujar nota (mai baixar) la nota de la part teòrica fins a 1.5 punts.

A més a més, s'han programat diverses activitats d'auto-avaluació, una al final de cada unitat didàctica, amb l'objectiu de que l'estudiant vagi valorant el seu propi progrés. Aquestes activitats consten d'una sèrie de preguntes test de resposta múltiple, d'un nivell similar a les de l'examen. En tot cas, aquestes activitats d'auto-avaluació no incideixin a la nota.

Avaluació d'aprenentatges del Bloc 2

- Prova escrita de la part de teoria (40% de la nota final, recuperable): Es farà una prova parcial a mitjans del trimestre (20% de la nota de teoria) i una prova escrita final a l'acabar el trimestre (80% de la nota final). Els exàmens tindran una part de test amb exercicis senzills i preguntes de la

part teòrica d'aquest bloc i una part amb exercicis a resoldre similars als resolts a classe.

- Proves d'execució amb Matlab (seminaris, 30% de la nota final, no recuperable). Petits tests a cada seminari basats en un treball previ a la sessió. Alguns seminaris comporten el lliurament d'un informe sobre els exercicis realitzats
- Proves d'execució amb ANSYS (pràctiques, 30% de la nota final, no recuperable). Informes d'algunes de les pràctiques

La nota mínima per fer mitjana és d'un 5.0 per cadascun dels punts anteriors. La recuperació de la prova escrita es realitzarà durant el període corresponent al mes de Juliol.

Qualsevol tipus de còpia en qualsevol dels apartats d'avaluació implica no superar l'assignatura.

5. Bibliografia i recursos didàctics

5.1. Bibliografia bàsica

Llibres de text:

BLOC 1

- T. Navarrete Terrasa. *Introducción a la programación con lenguaje C*.
- J. Bisbal Riera. *Manual d'algorísmica: Recursivitat, complexitat i disseny d'algorismes*. Editorial UOC. ISBN: 978-8497885706
- B.W. Kernighan, D.M. Ritchie: *El lenguaje de programación C*. Segunda edición. Prentice-Hall. ISBN: 968-8802050

BLOC 2

- J. Fish, T. Belytschko. *A First Course in Finite Elements*. Wiley. 2007. ISBN: 978-0470035801
- O.C. Zienkewicz, R.L. Taylor, J.Z. Zhu. *The Finite Element Method: Its basis and fundamentals*. Sixth Edition. Elsevier, Butterworth-Heinemann. 2005. ISBN: 0750663200

5.2. Bibliografia complementària

Llibres de consulta:

BLOC 1

- H. Schildt: *C Manual de referencia*. Mc Graw Hill. ISBN: 84-4810335-1
- J.L. Antonakos, K.C. Mansfield Jr.: *Programación estructurada en C*. Prentice-Hall. ISBN: 84-89660239
- M.A. Peña, J.M. Cela: *Introducción a la programación en C*. Edicions UPF. ISBN: 84-83014297
- L. Joyanes, I. Zahonero: *Programación en C*. Mc Graw Hill. ISBN: 84-4830138

- F. García, J. Carretero, J. Fernández, A. Calderón: *El lenguaje de programación C. Diseño e implementación de programas*. Prentice-Hall. ISBN: 84-20531782
- P.J. Plauger, J. Brodie: *C Estándar. Guía de referencia rápida para programadores*. Anaya. ISBN: 84-76142641

BLOC 2

- T.J.R. Hugues. *The Finite Element Method: Linear Static and Dynamic Finite Element Analysis*. Dover Publications, 2000. ISBN: 978-0486411811

Altres:

BLOC 1

- Material de l'assignatura de "Fonaments de Programació" dels graus TIC

BLOC 2

- Videos i notes del professor K.-J. Bathe del MIT dintre del MIT OpenCourseWare sobre Elements Finitis:
 - Finite Element Procedures for Solids and Structures: <http://ocw.mit.edu/resources/res-2-002-finite-element-procedures-for-solids-and-structures-spring-2010/linear/>