

Guia docent

250COD014 - 250COD014 - Enginyeria Assistida per Dades i Modelització d'Ordre Reduït

Última modificació: 15/06/2026

Unitat responsable: Escola Tècnica Superior d'Enginyeria de Camins, Canals i Ports de Barcelona

Unitat que imparteix: 751 - DECA - Departament d'Enginyeria Civil i Ambiental.

Titulació: MÀSTER UNIVERSITARI EN ENGINYERIA COMPUTACIONAL I ASSISTIDA PER DADES (Pla 2026).
(Assignatura optativa).

Curs: 2026

Crèdits ECTS: 5.0

Idiomes: Anglès

PROFESSORAT

Professorat responsable: PAVEL RYZHAKOV, SERGIO ZLOTNIK

Altres: RICCARDO ROSSI, ALIREZA SHAMEKHI

METODOLOGIES DOCENTS

Es especificarà a la pàgina de el curs.

OBJECTIUS D'APRENTATGE DE L'ASSIGNATURA

L'alumnat adquirirà coneixements sobre les tècniques d'anàlisi de dades, així com sobre els mètodes de reducció de model tant a priori com a posteriori. Aplicarà les diferents tècniques de Reduced Order Modeling (ROM) a problemes generals basats en dades i a problemes de mecànica computacional.

Resultats d'aprenentatge / Competències

Capacitat per desenvolupar i utilitzar models d'ordre reduït en aplicacions d'enginyeria.

Capacitat per implementar computacionalment les diferents tècniques de ROM.

Capacitat per seleccionar la tècnica de ROM més adequada per a cada problema.

HORES TOTALS DE DEDICACIÓ DE L'ESTUDIANTAT

Tipus	Hores	Percentatge
Hores grup gran	45,0	36.00
Hores aprenentatge autònom	80,0	64.00

Dedicació total: 125 h

CONTINGUTS

Preliminars matemàtics

Descripció:

Espais i normes vectorials i matricials, rang, span, valors propis i vectors propis. Tipus de matrius i les seves propietats (simetria, ortogonalitat, ortonormalitat)

Objectius específics:

Aquesta secció servirà per repassar els conceptes d'àlgebra lineal necessaris per a la comprensió de les tècniques de caracterització i anàlisi de dades, així com de les tècniques de reducció de models d'ordre reduït. Així mateix, s'introduiran conceptes avançats, com ara característiques, normes i mesures habitualment utilitzades en l'àmbit de la modelització d'ordre reduït, que van més enllà dels continguts que habitualment s'estudien en els cursos de grau d'àlgebra lineal.

Activitats vinculades:

Sessió pràctica d'ordinador dedicada a la caracterització de conjunts de dades i al càlcul de mètriques rellevants.

Dedicació: 8h

Grup gran/Teoria: 2h

Activitats dirigides: 1h

Aprenentatge autònom: 5h

Anàlisi Modal i la seva Relació amb ROM

Descripció:

contingut català

Objectius específics:

Aquest tema introdueix l'anàlisi modal com una tècnica de modelatge d'ordre reduït a priori i la compara amb enfocaments basats en dades com el POD. Se'n presenten les similituds, les diferències i l'aplicació pràctica al modelatge d'estructures lineals.

Activitats vinculades:

Comprendre els principis de l'anàlisi modal i la seva relació amb les tècniques ROM, i aprendre com les bases modals es poden utilitzar per reduir la complexitat computacional de models estructurals lineals.

Dedicació: 5h

Grup gran/Teoria: 1h

Aprenentatge autònom: 4h

Dades i SVD

Descripció:

Aquesta secció introduirà diferents tipus de dades i la seva representació matricial. Les dades es tractaran en un sentit ampli, incloent-hi resultats experimentals, imatges, simulacions numèriques i altres fonts d'informació. S'estudiaran les diferents estructures de matrius de dades, incloses les matrius altes i estretes (tall-and-skinny) i les baixes i amples (short-and-fat), així com les seves implicacions computacionals.

S'introduiran els conceptes de correlació i autocorrelació (cross-correlations i self-correlations) com a eines per a l'anàlisi de dades. Es presentarà l'Anàlisi de Components Principals (PCA) i la Descomposició en Valors Singulars (SVD) com a tècniques fonamentals per identificar patrons, estructures de baixa dimensionalitat i característiques dominants en conjunts de dades complexos.

A més, s'estudiarà l'ús de la SVD per a la resolució de sistemes lineals sobredeterminats i subdeterminats mitjançant el càlcul de pseudoinverses, així com la seva aplicació a problemes de regressió lineal i al tractament de dades incompletes (gappy data).

Objectius específics:

Comprendre les diferents formes de representació matricial de dades procedents d'experiments, simulacions numèriques, imatges i altres fonts d'informació.

Analitzar l'estructura i les correlacions presents en conjunts de dades mitjançant eines com les matrius de correlació, l'autocorrelació i les correlacions creuades.

Aplicar les tècniques de PCA i SVD per identificar patrons dominants, reduir la dimensionalitat de les dades i extreure les característiques més rellevants.

Utilitzar la SVD per calcular pseudoinverses, resoldre sistemes lineals sobredeterminats i subdeterminats, i abordar problemes de regressió lineal i de dades incompletes (gappy data).

Dedicació: 16h

Grup gran/Teoria: 4h

Activitats dirigides: 2h

Aprenentatge autònom: 10h

POD

Descripció:

Aquesta secció introdueix la Descomposició Ortogonal Pròpia (POD) com una extensió de la SVD aplicada a problemes governats per equacions en derivades parcials (PDEs). Es presentarà la reducció de dimensionalitat com una eina per representar el comportament espai-temporal de sistemes complexos mitjançant aproximacions de baixa dimensió.

S'estudiarà la separació de variables i la representació dels camps espacials a través de bases modals, així com la construcció de models reduïts mitjançant projecció de Galerkin sobre bases ortonormals. També es discutiran diferents estratègies per a la selecció i construcció de les bases de reducció. Finalment, s'aplicarà la metodologia POD a models estructurals basats en el mètode dels elements finits (FEM).

Objectius específics:

Comprendre els fonaments de la POD i la seva relació amb la SVD aplicada a PDEs.

Construir models d'ordre reduït mitjançant bases modals i projecció de Galerkin.

Aplicar tècniques POD a models estructurals basats en FEM.

Dedicació: 8h

Grup gran/Teoria: 2h

Grup mitjà/Pràctiques: 1h

Aprenentatge autònom: 5h

Problemes no lineals i hiperreducció

Descripció:

Aquesta sessió introdueix els principals reptes associats al modelatge d'ordre reduït de sistemes no lineals, destacant les limitacions i els colls d'ampolla computacionals dels enfocaments estàndard basats en POD quan s'apliquen a operadors no lineals. Per afrontar aquestes dificultats, es presenta el concepte d'hiperreducció, amb especial atenció a dues tècniques àmpliament utilitzades: el Mètode d'Interpolació Empírica Discreta (DEIM) i el Mètode de Cubatura Empírica (ECM). Se'n descriuen els fonaments teòrics, els principis d'implementació i el seu paper en el desenvolupament de ROMs no lineals eficients.

Objectius específics:

Familiaritzar els estudiants amb el Mètode d'Interpolació Empírica Discreta (DEIM) i el Mètode de Cubatura Empírica (ECM).

Dedicació: 8h

Grup gran/Teoria: 2h

Grup mitjà/Pràctiques: 1h

Aprenentatge autònom: 5h

Temes avançats de ROM i mètodes basats en dades

Descripció:

Aquesta sessió aborda tècniques avançades situades a la intersecció entre el modelatge d'ordre reduït i els enfocaments basats en dades. A partir dels reptes associats als sistemes no lineals, s'introdueixen mètodes d'aprenentatge automàtic per a la reducció no lineal de la dimensionalitat, amb especial atenció als autoencoders i a les tècniques d'aprenentatge de varietats. També es presenta Uniform Manifold Approximation and Projection (UMAP) com a eina per a la visualització, l'agrupament i la representació en baixa dimensió d'espais de solucions complexos, destacant-ne el potencial dins dels fluxos de treball de ROM.

Objectius específics:

Comprendre estratègies avançades de ROM per a sistemes no lineals i aprendre com tècniques basades en dades, com els autoencoders i UMAP, es poden utilitzar per a la reducció de dimensionalitat, l'extracció de característiques i l'anàlisi d'espais de solucions complexos.

Dedicació: 8h

Grup gran/Teoria: 2h

Grup mitjà/Pràctiques: 1h

Aprenentatge autònom: 5h

Presentació i discussió de treballs, part 1

Descripció:

Els estudiants hauran de presentar, defensar i discutir els treballs realitzats relacionats amb la primera part del curs (ROM a posteriori). Així mateix, se'ls formularan preguntes per avaluar el seu coneixement dels conceptes fonamentals.

Dedicació: 9h

Activitats dirigides: 3h

Aprenentatge autònom: 6h

Enfocaments a Posteriori: Descomposició Generalitzada Pròpia

Descripció:

Aquest tema introdueix la Descomposició Generalitzada Pròpia (PGD) com una tècnica de modelatge d'ordre reduït a posteriori. Es presenten els conceptes fonamentals de les representacions separades i la seva aplicació a la resolució eficient de problemes lineals d'alta dimensionalitat mitjançant formulacions intrusives.

Objectius específics:

Comprendre els fonaments teòrics de la PGD i la seva utilització per resoldre problemes d'alta dimensionalitat mitjançant enfocaments intrusius.

Dedicació: 8h

Grup gran/Teoria: 2h

Grup mitjà/Pràctiques: 1h

Aprenentatge autònom: 5h

Descomposició Generalitzada Pròpia

Descripció:

Aquest tema amplia el marc de la PGD cap a enfocaments no intrusius, mostrant com construir representacions reduïdes a partir de dades computacionals existents. Es presenten aplicacions a sistemes lineals i a la compressió de dades.

Objectius específics:

Aprendre els principis de la PGD no intrusiva i la seva aplicació a la representació eficient i la compressió de dades.

Dedicació: 8h

Grup gran/Teoria: 2h

Grup mitjà/Pràctiques: 1h

Aprenentatge autònom: 5h

Descomposició Generalitzada Pròpia 2

Descripció:

Aquest tema explora les operacions aritmètiques sobre representacions separades PGD, cobrint tant operacions bàsiques com avançades i mostrant-ne l'aplicació en problemes computacionals pràctics.

Objectius específics:

Comprendre com realitzar operacions matemàtiques directament sobre representacions PGD i aplicar-les a problemes d'enginyeria.

Dedicació: 8h

Grup gran/Teoria: 2h

Activitats dirigides: 1h

Aprenentatge autònom: 5h

Base reduïda

Descripció:

Aquest tema introdueix els mètodes de base reduïda, centrant-se en la construcció d'espais reduïts mitjançant algorismes greedy i en la seva aplicació a problemes computacionals paramètrics.

Objectius específics:

Aprendre com es construeixen les bases reduïdes i com es poden utilitzar per accelerar simulacions numèriques.

Dedicació: 8h

Grup gran/Teoria: 2h

Grup mitjà/Pràctiques: 1h

Aprenentatge autònom: 5h

Substituts Basats en Dades

Descripció:

Aquest tema presenta tècniques de modelatge substitut basades en dades, incloent l'Anàlisi de Components Principals (PCA) per a la reducció de dimensionalitat i la Regressió amb Processos Gaussians (Kriging) per a la predicció i l'aproximació.

Objectius específics:

Comprendre els fonaments dels models substituïts basats en dades i el seu ús per a la predicció i l'anàlisi eficients.

Dedicació: 9h

Grup gran/Teoria: 2h

Activitats dirigides: 1h

Aprenentatge autònom: 6h

Defensa de treballs, part 2

Descripció:

Els estudiants hauran de presentar, defensar i discutir els treballs realitzats relacionats amb la segona part del curs (ROM a priori). Així mateix, se'ls formularan preguntes per avaluar el seu coneixement dels conceptes fonamentals.

Dedicació: 9h

Activitats dirigides: 3h

Aprenentatge autònom: 6h

SISTEMA DE QUALIFICACIÓ

Qualsevol acte de frau acadèmic, plagiat, ús o tinença a l'abast de mitjans no autoritzats en qualsevol activitat d'avaluació comportarà la qualificació de zero (0) en la prova o lliurament afectat. A més, d'acord amb la normativa de la Universitat, la possible derivació dels fets per a l'obertura d'un expedient disciplinari implicarà que l'assignatura quedi en l'estat provisional de "pendent d'avaluació" fins a la resolució de l'expedient. La gestió d'aquestes incidències es desplega d'acord amb el [Marc d'actuació per a la integritat acadèmica en l'avaluació de la UPC](#).

TASQUES + EXAMEN ORAL



BIBLIOGRAFIA

Bàsica:

- Brunton, Steven L.; Kutz, J. Nathan. Data-driven science and engineering: machine learning, dynamical systems, and control. 2nd ed. Cambridge: Cambridge University Press, 2022. ISBN 9781009098489.
- Benner, Peter; Ohlberger, Mario; Cohen, Albert; Willcox, Karen. Model Reduction and Approximation: Theory and Algorithms [en línia]. SIAM, 2017 [Consulta: 16/06/2026]. Disponible a: <https://epubs-siam-org.recursos.biblioteca.upc.edu/doi/book/10.1137/1.9781611974829>. ISBN 9781611974829.