Guia docent
480021 - MMSS - Fonaments de Modelització Matemàtica i Sistèmica de la Sostenibilitat

Última modificació: 22/05/2026

Unitat responsable: Escola Tècnica Superior d'Enginyeria de Camins, Canals i Ports de Barcelona
Unitat que imparteix: 724 - MMT - Departament de Màquines i Motors Tèrmics.

Titulació: MÀSTER UNIVERSITARI EN CIÈNCIA I TECNOLOGIA DE LA SOSTENIBILITAT (Pla 2013). (Assignatura obligatòria).

Curs: 2026 **Crèdits ECTS:** 5.0 **Idiomes:** Anglès

PROFESSORAT

Professorat responsable: MARTI ROSAS CASALS

Altres:

COMPETÈNCIES DE LA TITULACIÓ A LES QUALS CONTRIBUEIX L'ASSIGNATURA

Específiques:
2. Aplicar adequadament, i de forma crítica i eficaç, marcs conceptuals, processos i tècniques d'obtenció i tractament de dades, estadística aplicada, modelització matemàtica, anàlisi de sistemes, sistemes d'informació geogràfica, tecnologies de la informació i les comunicacions i l'ecologia industrial a la solució de reptes de la sostenibilitat i desenvolupament sostenible.
3. Aplicar, analitzar de forma crítica els resultats i avaluar les teories, enfocaments i metodologies de valorització integrada en els àmbits de l'alimentació i el desenvolupament rural, les enginyeries agrícoles, de l'aigua, l'energia l'edificació, la construcció, el transport i el territori.
CE03. Analitzar de forma crítica i avaluar les teories i enfocaments sobre les característiques i propietats de la geoesfera i la biosfera que faciliten i emmarquen el desenvolupament dels sistemes socioecològics, així com els principals reptes del canvi climàtic.

Genèriques:
1. Desenvolupar i / o aplicar idees amb originalitat en un context d'investigació, identificant i formulant hipòtesis o idees innovadores i sotmetent-les a prova d'objectivitat, coherència i viabilitat.

Transversals:
4. TERCERA LLENGUA: Conèixer una tercera llengua, preferentment l'anglès, amb un nivell adequat oral i escrit i en consonància amb les necessitats que tindran els titulats i titulades.

5. ÚS SOLVENT DELS RECURSOS D'INFORMACIÓ: Gestionar l'adquisició, l'estructuració, l'anàlisi i la visualització de dades i informació de l'àmbit d'especialitat, i valorar de forma crítica els resultats d'aquesta gestió.

Bàsiques:
CB9. Que els estudiants sàpiguen comunicar les seves conclusions -i els coneixements i raons darreres que les sustenen- a públics especialitzats i no especialitzats d'una manera clara i sense ambigüetats.

METODOLOGIES DOCENTS

Durant el desenvolupament de l'assignatura es faran servir les següents metodologies docents:
Classe magistral o conferència (EXP): exposició de coneixements per part del professorat mitjançant classes magistrals o bé per persones externes mitjançant conferències convidades.
Resolució de problemes i estudi de casos (RP): resolució col · lectiva d'exercicis, realització de debats i dinàmiques de grup, amb el professor o professora i altres estudiants a l'aula; presentació a l'aula d'una activitat realitzada de forma individual o en grups reduïts.
Projecte, activitat o treball d'abast reduït (PR): aprenentatge basat en la realització, individual o en grup, d'un treball de reduïda complexitat o extensió, aplicant coneixements i presentant resultats.
Activitats d'Avaluació (AV).

Durant el desenvolupament de l'assignatura es faran servir les següents activitats formatives:

Presencials
Classes teòriques i conferències (CTC): conèixer, comprendre i sintetitzar els coneixements exposats pel professorat mitjançant classes magistrals o bé per conferenciants.
Classes pràctiques (CP): participar en la resolució col·lectiva d'exercicis, així com en debats i dinàmiques de grup, amb el professor o professora i altres estudiants a l'aula.
No presencials
Realització d'un projecte, activitat o treball d'abast reduït (PR): portar a terme, individualment o en grup, un treball de reduïda complexitat o extensió, aplicant coneixements i presentant resultats.

Estudi autònom (EA): estudiar o ampliar els continguts de la matèria de forma individual o en grup, comprenent, assimilant, analitzant i sintetitzant coneixements.

OBJECTIUS D'APRENENTATGE DE L'ASSIGNATURA

En finalitzar l'assignatura, el/l'estudiant:

Coneix i comprèn la dimensió sistémica de la sostenibilitat, les característiques i propietats que defineixen les seves dinàmiques temporals, així com les particularitats dels sistemes soci-ecològics.
Aplica de forma eficient tècniques i instruments propis de la matemàtica i l'estadística aplicada a reptes de la sostenibilitat i el desenvolupament mitjançant eines informàtiques de desenvolupament obert.
Integra i analitza críticament el resultat d'utilitzar models matemàtics i estadístics en la definició de solucions i estratègies de sostenibilitat i desenvolupament.

HORES TOTALS DE DEDICACIÓ DE L'ESTUDIANTAT

Tipus	Hores	Percentatge
Hores grup gran	20,0	15.99
Hores grup petit	6,7	5.36
Hores grup mitjà	10,0	7.99
Hores aprenentatge autònom	88,4	70.66

Dedicació total: 125.1 h

CONTINGUTS

1. Introducció al pensament sistèmic i a la complexitat

Descripció:
El pensament sistèmic estudia els sistemes de manera holística i intenta desenvolupar marcs lògics i matemàtics, d'enginyeria i filosofia, que englobin la realitat de manera complerta. La complexitat sorgeix en observar la realitat de manera sistémica. És la qualitat del que està compost de diversos elements i per tant es troba present en camps com la filosofia, l'epistemologia, la física i la biologia, la sociologia, la informàtica, la matemàtica, i també les anomenades ciències de la informació i de la comunicació o Tics. Els problemes associats al concepte de sostenibilitat solen ser sistémics, holístics i complexos.

Objectius específics:
(a) Presentar la sistémica a partir del seu procés històric de desenvolupament, a partir de la cibernètica, la teoria de la informació i la teoria general de sistemes.
(b) Reconèixer alguns dels principis comuns a diferents camps que sorgeixen d'aquesta visió holística.
(c) Presentar els mapes conceptuals com a eina bàsica per representar la relacions sistémiques.
(d) Presentar les diferents definicions de complexitat aplicades a sistemes econòmics, socials, naturals i biològics.
(e) Reconèixer els patrons que permeten detectar la complexitat en aquests sistemes.
(f) Presentar exemples de problemes relacionats amb la sostenibilitat que poden ser analitzats en el marc conceptual i amb les eines de la ciència de la complexitat.

Competències relacionades:
CE03. Analitzar de forma crítica i avaluar les teories i enfocaments sobre les característiques i propietats de la geoesfera i la biosfera que faciliten i emmarquen el desenvolupament dels sistemes socioecològics, així com els principals reptes del canvi climàtic.

Dedicació: 18h 15m
Grup gran/Teoria: 5h 15m
Aprenentatge autònom: 13h

2. Introducció a la modelització

Descripció:
Un model (aquí i en general, matemàtic) és una forma d'expressar atributs i relacions d'un sistema de manera simplificada. Es caracteritza per contenir variables, paràmetres, entitats i relacions entre variables i/o entitats o operacions, i s'utilitza per estudiar comportaments de sistemes complexos davant situacions difícils d'observar en la realitat.

Objectius específics:
(a) Presentar les diferents formes de modelització i la seva classificació.
(b) Comprendre les diferències entre modelització i simulació.
(c) Presentar els conceptes bàsics de programació i l'entorn NetLogo com a eina bàsica per a la modelització amb computador.

Activitats vinculades:
A1

Dedicació: 12h 10m
Grup gran/Teoria: 3h
Activitats dirigides: 1h 40m
Aprenentatge autònom: 7h 30m

3. Models amb equacions

Descripció:
Els models matemàtics més coneguts són els que utilitzen equacions diferencials per caracteritzar l'evolució dinàmica (això és, temporal) dels sistemes que persegueixen estudiar. Si el sistema es descriu mitjançant equacions diferencials ordinàries, la integració pot ser directa. Però la complexitat dels sistemes implica moltes vegades la integració numèrica.

Objectius específics:
(a) Presentar les diferències entre models dinàmics discrets i continus.
(b) Presentar els diagrames causals com a evolució dels mapes conceptuals.
(c) Presentar els diagrames de flux com a evolució dels diagrames causals i com a fonament de la tècnica de la dinàmica de sistemes.
(d) Diferenciar els sistemes lineals dels no lineals.
(e) Introduir l'anàlisi d'estabilitat com a eina essencial per caracteritzar el comportament dinàmic dels models de sistemes

Activitats vinculades:
A2

Competències relacionades:
CE13. Aplicar, analitzar de forma crítica els resultats i avaluar les teories, enfocaments i metodologies de valorització integrada en els àmbits de l'alimentació i el desenvolupament rural, les enginyeries agrícoles, de l'aigua, l'energia l'edificació, la construcció, el transport i el territori.

Dedicació: 51h
Grup gran/Teoria: 14h
Activitats dirigides: 2h
Aprenentatge autònom: 35h

4. Models amb agents

Descripció:
Un model basat en agents és un tipus de model computacional que permet la simulació d'accions i interaccions d'individus autònoms dins d'un entorn, i permet determinar quins efectes produeixen en el conjunt del sistema. Els models simulen les operacions simultànies d'entitats múltiples (agents), en un intent de recrear i predir les accions de fenòmens complexos, i que poden resultar emergents, des del nivell més elemental (micro) al més elevat (macro).

Objectius específics:
(a) Reconèixer la necessitat de la programació computacional com a essència de la modelització amb agents.
(b) Presentar les característiques i propietats dels models amb agents i com comunicar-los.
(c) Reconèixer els patrons emergents com a resultants dels processos d'interacció entre agents.
(d) Analitzar i comprendre els models basats en agents, així com la seva parametrització i calibrat.

Activitats vinculades:
A3

Competències relacionades:
CE04. Aplicar adequadament, i de forma crítica i eficaç, marcs conceptuals, processos i tècniques d'obtenció i tractament de dades, estadística aplicada, modelització matemàtica, anàlisi de sistemes, sistemes d'informació geogràfica, tecnologies de la informació i les comunicacions i l'ecologia industrial a la solució de reptes de la sostenibilitat i desenvolupament sostenible.
CE13. Aplicar, analitzar de forma crítica els resultats i avaluar les teories, enfocaments i metodologies de valorització integrada en els àmbits de l'alimentació i el desenvolupament rural, les enginyeries agrícoles, de l'aigua, l'energia l'edificació, la construcció, el transport i el territori.

Dedicació: 37h 30m
Grup gran/Teoria: 10h 30m
Activitats dirigides: 2h
Aprenentatge autònom: 25h

ACTIVITATS

A1. Introducció a la programació

Descripció:
Es demana que, de forma individual, es realitzin els tutorials del programa utilitzat per a la programació mitjançant agents (i.e. NetLogo).

Objectius específics:
Familiaritzar-se amb el llenguatge de programació i la interfície del programa NetLogo.

Material:
· NetLogo (http://ccl.northwestern.edu/netlogo/)
· Tutorials NetLogo (http://ccl.northwestern.edu/netlogo/docs/)

Competències relacionades:
CT4. ÚS SOLVENT DELS RECURSOS D'INFORMACIÓ: Gestionar l'adquisició, l'estructuració, l'anàlisi i la visualització de dades i informació de l'àmbit d'especialitat, i valorar de forma crítica els resultats d'aquesta gestió.

Dedicació: 3h
Aprenentatge autònom: 3h

A2. Model de creixement poblacional amb equacions

Descripció:
Es demana que, en grups de 4 - 5 persones, s'implementi un model computacional de creixement poblacional amb equacions a partir de dades de creixement poblacional històriques reals i que es discuteixin els resultats de les projeccions a 5, 10 i 20 anys.

Objectius específics:
Aprofundir en i aplicar els coneixements adquirits al llarg de la unitat.

Material:
NetLogo
Dades històriques de creixement poblacional (Bibliografia)

Lliurament:
Model computacional amb NetLogo

Competències relacionades:
CG02. Desenvolupar i / o aplicar idees amb originalitat en un context d'investigació, identificant i formulant hipòtesis o idees innovadores i sotmetent-les a prova d'objectivitat, coherència i viabilitat.
CE04. Aplicar adequadament, i de forma crítica i eficaç, marcs conceptuals, processos i tècniques d'obtenció i tractament de dades, estadística aplicada, modelització matemàtica, anàlisi de sistemes, sistemes d'informació geogràfica, tecnologies de la informació i les comunicacions i l'ecologia industrial a la solució de reptes de la sostenibilitat i desenvolupament sostenible.
CT4. ÚS SOLVENT DELS RECURSOS D'INFORMACIÓ: Gestionar l'adquisició, l'estructuració, l'anàlisi i la visualització de dades i informació de l'àmbit d'especialitat, i valorar de forma crítica els resultats d'aquesta gestió.

CB9. Que els estudiants sàpiguen comunicar les seves conclusions -i els coneixements i raons darreres que les sustenen- a públics especialitzats i no especialitzats d'una manera clara i sense ambigüetats.

Dedicació: 25h
Aprenentatge autònom: 25h

A3. Model de creixement poblacional amb agents

Descripció:
Es demana que, en grups de 4 - 5 persones, s'implementi un model computacional de creixement poblacional amb agents basat en el model escollit com a més adient de l'activitat A2.

Objectius específics:
Aprofundir en i aplicar els coneixements adquirits al llarg de la unitat.

Material:
NetLogo

Lliurament:
Model NetLogo basat en agents

Competències relacionades:
CG02. Desenvolupar i / o aplicar idees amb originalitat en un context d'investigació, identificant i formulant hipòtesis o idees innovadores i sotmetent-les a prova d'objectivitat, coherència i viabilitat.
CE04. Aplicar adequadament, i de forma crítica i eficaç, marcs conceptuals, processos i tècniques d'obtenció i tractament de dades, estadística aplicada, modelització matemàtica, anàlisi de sistemes, sistemes d'informació geogràfica, tecnologies de la informació i les comunicacions i l'ecologia industrial a la solució de reptes de la sostenibilitat i desenvolupament sostenible.
CB9. Que els estudiants sàpiguen comunicar les seves conclusions -i els coneixements i raons darreres que les sustenen- a públics especialitzats i no especialitzats d'una manera clara i sense ambigüetats.

Dedicació: 16h 40m
Aprenentatge autònom: 16h 40m

SISTEMA DE QUALIFICACIÓ

Qualsevol acte de frau acadèmic, plagi, 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**.

AV1 Prova escrita parcial de control de coneixements (PE). 35%
AV2 Prova escrita parcial de control de coneixements (PE). 35%
AV3 Treballs realitzats al llarg del curs (TR). 30%

BIBLIOGRAFIA

Bàsica:
- Norberg, J.; Cumming, G.S. Complexity theory for a sustainable future. New York: Columbia University Press, 2008. ISBN 9780231134606.
- Erdi, P. Complexity explained [en línia]. Berlin: Springer, 2008 [Consulta: 02/02/2021]. Disponible a: https://link-springer-com.recursos.biblioteca.upc.edu/book/10.1007%2F978-3-540-35778-0. ISBN 9783540357773.
- Grimm, V.; Railsback, S.F. Individual-based modeling and ecology. Princeton and Oxford: Princeton University Press, 2005. ISBN 9780691096667.
- Casti, J.L. Would-be worlds: how simulation is changing the frontiers of science. New York: John Wiley and Sons, 1997. ISBN 9780471196938.

Complementària:
- Aracil, J. Introducción a la dinámica de sistemas. 3a ed. Madrid: Alianza, 1986. ISBN 8420680583.
- Railsback, S.F.; Grimm, V. Agent-based and individual-based modeling: a practical introduction. Princeton: Princeton University Press, 2011. ISBN 9780691136745.
- Miller, J.H.; Page, S.E. Complex adaptive systems: an introduction to computational models of social life. Princeton, New Jersey:

Princeton University Press, 2007. ISBN 9780691127026.