

Teoria de Cues i Simulació

Dades generals

Nom de l'assignatura	Teoria de Cues i Simulació
Codi de l'assignatura	361228
Curs acadèmic	2025/2026
Coordinació	ESTEVE CODINA SANCHO
Departament	Departament d'Econometria, Estadística i Economia Aplicada
Crèdits	6
Programa únic	S

Més informació

Hores estimades de dedicació

Hores totals: 150 Hores

Activitats	Tipus de formació	Hores	Observacions
Activitats presencials i/o no presencials		60	
- Teoricopràctica	Presencial i no presencial	37.5	
- Pràctiques de problemes	Presencial i no presencial	15	
- Pràctiques d'ordinadors	Presencial i no presencial	7.5	
Treball tutelat/dirigit		40	
Aprenentatge autònom		50	

Recomanacions

L'alumnat ha de tenir coneixements previs en:

- Càlcul de probabilitats, variables aleatòries, distribucions de freqüències i estadístics (mitjana, variància, etc.).
- Càlcul i anàlisi real.
- Programació.

Es recomana haver cursat les assignatures:

- Estadística Descriptiva
- Introducció a la Informàtica
- Introducció a la Probabilitat
- Introducció al Càlcul
- Programació
- Probabilitat i Processos Estocàstics
- Introducció a la Investigació Operativa
- Inferència Estadística

Competències / Resultats d'aprenentatge que es desenvolupen

- Capacitat per detectar, formular i donar solució mitjançant models d'investigació operativa a problemes de presa de decisió de les diferents organitzacions, integrant, si és necessari, els resultats de les anàlisis estadístiques.
- Capacitat per aplicar les tècniques estadístiques i la investigació operativa en la millora de la qualitat i la productivitat en diferents entorns (tecnològics, industrials, etc.).
- Capacitat per identificar els principals models de la investigació operativa i conèixer-ne les propietats i l'àmbit d'aplicació.
- Capacitat d'utilitzar llenguatges de programació per a la implementació d'algoritmes i de sistemes de gestió de bases de dades.
- Capacitat per seleccionar el mètode més adequat en la realització d'un estudi estadístic, d'avaluar les possibles alternatives i, si és procedent, incloure-hi l'anàlisi de costos i de recursos disponibles.

Objectius d'aprenentatge

Referits a coneixements

- Conèixer el concepte de temps de vida residual i aplicar-lo a l'entorn dels sistemes d'espera.
- Conèixer i estar en disposició d'identificar els diferents components d'un sistema d'espera i les seves interrelacions.
- Conèixer les principals magnituds fonamentals que intervenen en un sistema de cues i com reflecteixen el funcionament d'aquest sistema, així com les interrelacions entre aquestes magnituds.
- Conèixer i aplicar les propietats dels models d'espera exponencials.
- Identificar les distribucions de probabilitat subjacents en els diferents processos que intervenen en un sistema d'espera.
- Conèixer els mètodes vistos a l'assignatura per generació de nombres aleatoris.
- Conèixer el paper de la simulació com a eina metodològica per avaluar models de cues i sistemes d'inventari.

Referits a habilitats, destreses

- Calcular l'esperança del temps de vida residual i condicional.
- Identificar el model de cues adequat i de les distribucions de probabilitat per arribades i serveis.
- Calcular i fer estimacions de les magnituds fonamentals dels sistemes d'espera.
- Identificar la influència en el rendiment dels sistemes d'espera, de diferents tipus de canvis en la seva configuració.
- Desenvolupar models de simulació de sistemes de cues i inventaris.
- Saber emprar el mètode de mitjanes per lots a partir de resultats d'una simulació.

Blocs temàtics

1 Introducció als processos de renovació

Propietats importants dels processos estocàstics de renovació que intervenen en la teoria de cues.

1.1 Definició

Magnituds importants associades. Funció de renovació. Teorema elemental de renovació. Renovació en temps distribuït exponencialment. Relació amb la llei de Poisson i noció del teorema de Palm. La distribució k -Erlang

1.2 La propietat d'absència de memòria

Temps de vida residual i temps de vida condicional. Temps de vida truncat. Propietat d'absència de memòria. Propietats importants de la distribució exponencial

2 Cues exponencials

Principals models derivats dels processos de naixement i mort.

2.1 Conceptes bàsics: sistemes d'espera

Estructura general dels models de cues: característiques; elements d'un sistema d'espera; notació de Kendall-Lee. Modelització de models de cua exponencials: hipòtesis de modelització; característiques dels processos d'arribada i de sortida de clients. Noció d'estat estacionari i d'ocupació d'una cua. Mitjana de temps d'espera dels clients. Fórmula de Little

2.2 Estimació dels paràmetres en models de cues

Tests de khi al quadrat per a les distribucions dels processos d'arribada i servei. Intervals de confiança per a les taxes d'arribada, servei i factor de càrrega

2.3 Models exponencials de cues

Resolució dels models de cua exponencial: processos de naixement i mort; casos particulars de models de cua exponencials: $M/M/1$, $M/M/s$, $M/M/s/K$, $M/M/s/.N$

3 Cues no exponencials

En moltes situacions reals les hipòtesis pròpies de les cues M/M no es verifiquen. En alguns casos és possible emprar mètodes analítics o fer aproximacions. En aquest bloc es presenten les més comunes.

3.1 Introducció als models no exponencials

La cua $M/G/1$ i la fórmula de Pollaczek-Khinchine. La cua $G/M/1$. Aproximacions per a les cues $G/G/s$. Models de servei i arribades per lots. Introducció a l'optimització de sistemes de cues oberts. Resolució de models de cua mitjançant paquets informàtics

4 Simulació

Per a alguns sistemes, com ara cues més complexes o sistemes d'inventari, els models analítics esdevenen molt complexos. Una forma alternativa d'obtenir solucions dels anteriors sistemes és mitjançant models de simulació. En aquest bloc s'examinen les metodologies més rellevants per construir i explotar models de simulació.

4.1 Conceptes bàsics

Un exemple de simulació de sistemes amb successos discrets. La construcció de models de simulació

4.2 Mètodes de Montecarlo

Generació de nombres aleatoris. Distribució uniforme en $[0,1]$, mètode de la inversa, generació de variables discretes i contínues més freqüents: binomial, Poisson, exponencial, k -Erlang, normal. Tests sobre les mostres de números aleatoris generats

4.3 Metodologia de la simulació

Estat d'un sistema i successos. Metodologia *event-scheduling* i *activity scanning*. Aplicació de la simulació a sistemes de cues i a inventaris. Simulació amb ordinador. Introducció als llenguatges de simulació

4.4 Processos de mostreig en simulació

L'anàlisi estadística en simulació. Estat transitori i estacionari. Mitjanes per lots i mètodes regeneratius

Metodologia i activitats formatives

La metodologia d'ensenyament inclou quatre tipus de sessions: sessions de teoria, sessions de problemes i/o exercicis, sessions de laboratori i sessions de seguiment del treball de curs.

— Les sessions de teoria consisteixen en l'exposició dels continguts de l'assignatura, generalment amb l'ajut d'un conjunt de transparències, que s'alternen amb la pissarra, en la qual s'estenen i també es desenvolupen exemples adequats.

— Les sessions de problemes consisteixen en la resolució, sigui per part del professorat o sol·licitant la cooperació de l'alumnat, d'un conjunt d'exercicis, cadascun de certa extensió i amb enunciats recopilats en una col·lecció de la qual només es disposa de les solucions finals dels exercicis.

— Les sessions de laboratori consisteixen en la utilització de recursos de programari per tal de resoldre aspectes pràctics com ara l'estimació dels paràmetres dels models de cues estudiats a classe de teoria, l'evolució de les longituds de cua, la generació i anàlisi de mostres de números pseudoaleatoris, l'anàlisi de mostres de resultats de simulació.

— En les sessions de seguiment del treball de curs s'exposa el contingut dels lliuraments parcials que han d'efectuar-se d'aquest treball i es responen les qüestions particulars de cada treball.

Algunes classes, especialment si són de problemes/ordinadors, es desdoblen en diferents grups, la composició dels quals decideix el professorat. Un mateix professor/a imparteix la docència en els dos subgrups en l'horari establert, però l'assistència per parts dels estudiants és quinzenal

Avaluació acreditativa dels aprenentatges

Avaluació continuada

Aquesta és l'avaluació habitual. La comprensió de l'assignatura i de les habilitats que es desenvolupen poden ser avaluades de manera continuada mitjançant dos exàmens parcials i un de final. Cada examen parcial avalua dos blocs de teoria i el seu pes en la nota de teoria és del 50 %. Els exàmens parcials tenen caràcter alliberador dels blocs corresponents, sempre que la nota obtinguda sigui superior o igual a 3,5 (sobre 10); aleshores, no cal presentar-se a l'examen final dels blocs alliberats pels parcials. En cas de no alliberar-se un bloc de teoria la nota corresponent del bloc és l'obtinguda en l'examen final. El primer examen parcial es fa a meitat del semestre i el segon examen parcial, al final de les classes. Igualment, formen part de l'avaluació continuada les pràctiques de laboratori, lliurades i avaluades durant el curs.

L'assignatura inclou l'elaboració d'un treball amb un lliurament parcial durant el període docent. Aquest lliurament parcial passa a formar part de l'avaluació continuada i val el 30 % del total de la nota corresponent al treball. Aquest treball de curs s'ha de lliurar en la data marcada per a l'examen final.

La nota de l'assignatura es compon d'un 60 % de la part teòrica, un 20 % dels exercicis de laboratori i un 20 % del treball de curs.

L'alumnat que no hagi superat l'assignatura té dret a una prova de reavaluació, que es fa durant el mes de juliol i té les característiques de la prova d'avaluació única. La reavaluació permet obtenir la qualificació màxima i s'hi pot presentar qualsevol estudiant, independentment que hagi optat per l'avaluació única o la continuada.

Avaluació única

L'alumnat que vulgui renunciar a l'avaluació continuada i acollir-se a l'avaluació única ha de fer-ho abans de la data que estableixi el Consell Docent, la qual es fa pública amb antelació suficient. La data de la prova d'avaluació única ve fixada també pel Consell Docent. S'opta llavors per fer un examen final, que decideix el 100 % de la nota. Els diferents mètodes d'avaluació (única i continuada) inclouen l'avaluació de les competències associades a l'assignatura.

Fonts d'informació bàsica

Llibre

ALLEN, Arnold O. *Probability, Statistics and Queueing Theory*. Boston: Academic Press, 1990

Comentari: Font associada al bloc 3.

Enllaços: [Catàleg UB](#)

Llibre

BRATLEY, Paul. et al. *A Guide to Simulation*. New York [etc.]: Springer, 1987

Comentari: Font associada al bloc 4.

Enllaços: [Catàleg UB](#)

Llibre

HILLIER, F.S. et al. *Introduction to Operations Research*. Oakland, CA: Holden day Inc. 1986

Comentari: Font associada al bloc 2.

Enllaços: [Catàleg UB](#) [Catàleg UB Versió en castellà \(2015\)](#)

Llibre

LAW, Averill M. et al. *Simulation modeling and analysis*. New York [etc.]: McGraw-Hill, 1991

Comentari: Font associada al bloc 4.

Enllaços: [Catàleg UB](#)

Llibre

TRIVEDI, Kishor Shridharbhai. et al. *Probability and Statistics with Reliability, Queueing and Computer Science Applications*. New York [etc.]: John Wiley & Sons, 2002

Comentari: Font associada al bloc 1.

Enllaços: [Catàleg UB](#)

Pàgina web

<http://www-eio.upc.es/teaching/TCIS/>

Comentari: Repositori de material docent. Exàmens, material de pràctiques, exercicis, transparències de classe i apunts.

Enllaços: [Pàgina de l'assignatura Teoria de Cues i Simulació](#)

Text electrònic

CODINA, E.; MONTERO, L. *Teoria de Cues. Apunts*

Comentari: Font associada als blocs 2 i 3.

Enllaços: [Recurs electrònic extern](#)

Text electrònic

CODINA, E.; MONTERO, L. *Introducció a la Simulació i a la generació de N°s aleatoris*

Comentari: Font associada al bloc 4.

Enllaços: [Recurs electrònic extern](#)

Text electrònic

CODINA, E. *Teoria de Cues. Transparències de classe*

Comentari: Font associada als blocs 2 i 3.

Enllaços: [Recurs electrònic extern](#)