

Titulació	Tipus	Curs
Enginyeria de Sistemes de Telecomunicació	OB	3

Professor/a de contacte

Nom: Josep Xavier Salvat Lozano

Correu electrònic: josepxavier.salvat@uab.cat

Equip docent

(Extern) Josep Xavier Salvat

(Extern) Pere Camps

Idiomes dels grups

Podeu consultar aquesta informació al [final](#) del document.

Prerequisits

Per tal de poder seguir l'assignatura "Xarxes de Telecomunicació" amb garanties, s'han d'haver cursat i superat les següents assignatures del pla d'estudis:

- Estadística
- Fonaments de Xarxes

Objectius

L'objectiu de l'assignatura és donar a conèixer l'evolució tecnològica i l'arquitectura de les xarxes de telecomunicació, així com els problemes que es plantegen i les solucions que existeixen en el procés de disseny i explotació d'aquestes. Així doncs, un cop acabat el curs els alumnes i les alumnes hauran de ser capaços de:

- Conèixer la taxonomia, l'evolució tecnològica i l'arquitectura de les xarxes de telecomunicació
- Conèixer les eines matemàtiques que permeten modelitzar el funcionament d'un sistema i saber-les aplicar al dimensionat d'una xarxa de telecomunicació
- Descriure els requeriments d'una xarxa de telecomunicació pel que fa a la qualitat del servei i conèixer les tècniques que s'utilitzen per implementar-la
- Descriure la problemàtica de la congestió de la xarxa i conèixer el funcionament dels mecanismes que existeixen per resoldre-la
- Descriure la necessitat de la interconnexió de xarxes i conèixer el funcionament dels protocols que s'utilitzen a Internet

- Descriure el concepte de control i gestió de xarxa i conèixer el funcionament dels protocols que s'utilitzen a Internet

Competències

- Actitud personal
- Aplicar la legislació necessària durant el desenvolupament de la professió d'enginyer tècnic de telecomunicació i utilitzar les especificacions, els reglaments i les normes de compliment obligatori.
- Aprendre nous mètodes i tecnologies a partir dels coneixements bàsics i dels tecnològics, i tenir versatilitat per adaptar-se a noves situacions.
- Comunicació
- Dirigir les activitats objecte dels projectes de l'àmbit de la telecomunicació.
- Dissenyar i dimensionar sistemes de comunicacions multiusuari utilitzant els principis de la teoria de la comunicació sota les restriccions imposades per les especificacions i la necessitat de proveir de qualitat de servei.
- Ètica i professionalitat
- Fer mesures, càlculs, valoracions, taxacions, peritatges, estudis, informes, planificació de tasques i altres treballs anàlegs en l'àmbit dels sistemes de telecomunicació.
- Hàbits de pensament.
- Hàbits de treball personal
- Redactar, desenvolupar i firmar projectes en l'àmbit de l'enginyeria de telecomunicacions que, segons l'especialitat, tinguin per objecte la concepció, el desenvolupament o l'explotació de xarxes, serveis i aplicacions de telecomunicació i electrònica.
- Resoldre problemes amb iniciativa i creativitat. Prendre decisions. Comunicar i transmetre coneixements, habilitats i destreses, comprenent la responsabilitat ètica i professional de l'activitat de l'enginyer tècnic de telecomunicació.
- Treball en equip

Resultats d'aprenentatge

1. Adaptar-se a entorns multidisciplinaris.
2. Aplicar les tècniques en què es basen les xarxes, serveis, processos i aplicacions de telecomunicació tant en entorns fixos com a mòbils, personals, locals o a gran distància amb diferents amplituds de banda, incloent telefonia, radiodifusió, televisió i dades, des del punt de vista dels sistemes de transmissió.
3. Assumir i respectar el rol dels diversos membres de l'equip, així com els diferents nivells de dependència de l'equip.
4. Avaluar de manera crítica el treball dut a terme.
5. Avaluar els avantatges i inconvenients de diferents alternatives tecnològiques de desplegament o implementació de sistemes de comunicacions, des del punt de vista de l'espai del senyal, les perturbacions i el soroll i els sistemes de modulació analògica i digital.
6. Comunicar eficientment, oralment i per escrit, coneixements, resultats i habilitats, tant en entorns professionals com davant de públics no experts.
7. Construir, explotar i gestionar les xarxes, serveis, processos i aplicacions de telecomunicacions, enteses aquestes com a sistemes de captació, transport, representació, processament, emmagatzematge, gestió i presentació d'informació multimèdia, des del punt de vista dels sistemes de transmissió.
8. Desenvolupar el pensament científic.
9. Desenvolupar estratègies d'aprenentatge autònom.
10. Desenvolupar la capacitat d'anàlisi i de síntesi.
11. Desenvolupar la curiositat i la creativitat.
12. Desenvolupar un pensament i un raonament crítics.
13. Diferenciar i classificar els principals algorismes de dimensionament, control de tràfic i congestió.
14. Diferenciar i comprendre el significat de mesuraments i valoracions de xarxes de telecomunicacions per fomentar i assegurar el seu disseny més òptim.
15. Discutir i aplicar sistemes de criptografia orientats a millorar la seguretat d'un sistema de comunicació.

16. Distingir la diferent naturalesa dels problemes de dimensionament i encaminament per a cada un dels diferents tipus de xarxes i prendre decisions i iniciatives per a la millora del funcionament i provisió de serveis de les xarxes de telecomunicacions.
17. Dur a terme activitats de direcció per al disseny i dimensionament de xarxes de telecomunicacions considerant mètodes clàssics i de nova generació.
18. Fer un ús eficient de les TIC en la comunicació i la transmissió d'idees i resultats.
19. Gestionar el temps i els recursos disponibles.
20. Gestionar les xarxes, serveis, processos i aplicacions de telecomunicacions d'acord a la legislació i regulacions vigents tant a nivell nacional com a internacional.
21. Respectar la diversitat i la pluralitat d'idees, persones i situacions.
22. Treballar cooperativament.
23. Treballar de manera autònoma.
24. Utilitzar aplicacions de comunicació i informàtiques (ofimàtiques, bases de dades, càlcul avançat, gestió de projectes, visualització, etc.) per a donar suport al desenvolupament i explotació de xarxes, serveis i aplicacions de telecomunicació i electrònica

Continguts

PART I

I.1. Repàs de les Xarxes de Telecomunicació

- Arquitectura de les xarxes de telecomunicacions: model per capes, vora de xarxa, xarxes d'accés i troncs
- Commutació de paquets i commutació de circuits
- Conceptes bàsics d'IP: paquets, encaminament, mida de paquets, ARP, DHCP
- Evolució de la infraestructura i arquitectura d'Internet

I.2. Xarxes d'Àrea Local (LAN)

- Ethernet (IEEE 802.3): capa física, evolució, commutació, format de trama, dominis de col·lisió i difusió
- Protecció contra bucles: Spanning Tree (STP, IEEE 802.1d), Rapid STP (RSTP, 802.1w)
- Agregació d'enllaços: LAG/LACP (IEEE 802.3ad)
- Xarxes virtuals: VLANs (IEEE 802.1q), CoS (802.1p), QinQ (802.1ad)
- MLAG i protocols relacionats (MC-LAG, vPC, etc.)
- VXLAN (RFC 7348): xarxes superposades, format d'encapsulació, casos d'ús en centres de dades
- Arquitectures de xarxes de centres de dades: Spine & leaf, teixit Clos, sobre-subscripció

I.2b. Xarxes LAN Sense Fils (Wi-Fi)

- Visió general del Wi-Fi: família IEEE 802.11, bandes de freqüència (2.4 GHz, 5 GHz, 6 GHz)
- Modulació i capa física: OFDM, QAM, MIMO
- Topologies de xarxa Wi-Fi: BSS, ESS, itinerància.
- Comportament de la capa MAC: CSMA/CA, RTS/CTS, prevenció de col·lisions
- Evolució dels estàndards Wi-Fi: 802.11a/b/g/n/ac/ax (Wi-Fi 6/6E)
- Característiques de rendiment: amplada de banda, latència, cobertura, interferències
- Seguretat i gestió: WPA/WPA2/WPA3, autenticació, itinerància.
- Casos d'ús i consideracions de disseny: desplegaments densos, entorns empresarials, Wi-Fi en malla

I.3. Xarxes d'Accés i de Transport

- Arquitectura de les xarxes d'accés i el seu paper a Internet
- DSL (Línia Digital d'Abonat): ADSL, VDSL, modulació de senyal (DMT/OFDM), vectorització, diafonia, PPPoE
- HFC (Fibra-Coaxial Híbrida): evolució de DOCSIS, model d'amplada de banda compartida, propietats del coaxial

- PON (Xarxa Òptica Passiva): GPON, XG/XGS-PON, divisors, operació ascendent/descendent, T-CONTs, procés de registre ONU. Accés per fibra: transmissió òptica, bandes de longitud d'ona, fibra monomode vs multimode

I.4. Interconnexió de Xarxes a Internet

- Principis d'interconnexió de xarxes: Stub, trànsit, multihomed
- Sistemes Autònoms (AS), gestió de recursos d'Internet (IP, ASN, RIRs)
- Algorismes d'encaminament: Bellman-Ford, Dijkstra
- Protocols de Passarel·la Interior (IGPs): OSPF, IS-IS, RIP
- Protocol de Passarel·la Exterior: BGP (eBGP/iBGP), atributs de ruta, ruta AS, acords d'interconnexió i polítiques

I.5. Capacitat d'Internet i Qualitat del Servei

- Mètriques clau: amplada de banda, latència, jitter, pèrdua de paquets
- Capacitat de xarxa i sobre aprovisionament
- Memòries intermèdies: estimació de mida (BDP), multiplexació estadística, bufferbloat
- Qualitat del Servei (QoS): estratègies de cua (PQ, WFQ, LLQ), fluxos ratolí vs elefant
- Models de serveis: Serveis Integrats (IntServ) i Serveis Diferenciats (DiffServ)

I.6. Protocols de Transport

- UDP: lliurament lleuger i no fiable
- TCP: lliurament fiable, control de flux (finestra lliscant), control de congestió (Reno, Cubic, BBR)
- Algorismes de control de congestió TCP: inici lent, recuperació ràpida, model de sonda BBR
- QUIC / HTTP3: connexions multiplexades sobre UDP, xifrat, control de congestió

I.7. "Veritats" sobre Xarxes

- RFC 1925: Veritats fonamentals sobre xarxes

PART II

II.1. Modelització de sistemes mitjançant teoria de cues

- Conceptes generals: trànsit, servidors, cues i disciplina de servei
- Caracterització del trànsit: distribució exponencial, processos de Poisson i cadenes de Markov (discretes i contínues)
- Paràmetres bàsics i notació de Kendall: nombre de servidors, mida de cua, disciplina de cua, taxa i temps inter-arribada, taxa i temps de servei, temps de resposta i d'espera, ocupació mitjana de servidors i cua, probabilitat de bloqueig/espera/pèrdua
- Llei de Little: rendiment, utilització i condicions d'estabilitat

II.2. Dimensionat de xarxes de telecomunicació

- Introducció i requisits del dimensionat de xarxa: grau de servei
- Dimensionat d'un node de commutació de paquets: Model M/M/1 i M/M/m
- Dimensionat d'una xarxa de telefonia fixa: Model M/M/c/c (Erlang B, pèrdues)
- Dimensionat d'una xarxa de telefonia cel·lular: Model M/M/c/inf (Erlang C, demores)

PRÀCTIQUES

- Sessió 1: Xarxes d'àrea local (Ethernet: VLAN + LAG)
- Sessió 2: Interconnexió de xarxes a Internet I (OSPF)
- Sessió 3: Interconnexió de xarxes a Internet II (BGP)
- Sessió 4: Xarxes d'accés i transport (GPON + VXLAN)

Activitats formatives i Metodologia

Títol	Hores	ECTS	Resultats d'aprenentatge
Tipus: Dirigides			
Classes de teoria	26	1,04	2, 5, 7, 8, 10, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 20, 24
Resolució de problemes	12	0,48	2, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 20, 23, 24
Tipus: Supervisades			
Pràctiques de laboratori	12	0,48	1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 22, 24
Tutories	2	0,08	1, 4, 6, 8, 9, 10, 11, 12, 19, 21, 23
Tipus: Autònomes			
Treball individual de l'alumne: estudi i resolució de problemes	70	2,8	2, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 23, 24
Treball individual de l'alumne: preparació de pràctiques	18	0,72	1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 22, 23, 24

Activitats dirigides:

- Classes de teoria: exposició de continguts teòrics
- Classes pràctiques: resolució de qüestions i problemes relacionats amb la teoria
- Pràctiques de laboratori: desenvolupament repte relacionat amb la matèria mitjançant l'ús d'equips o simuladors

Activitats autònomes:

- Estudi individual de la matèria de l'assignatura: preparació d'esquemes de blocs, resums i resposta a qüestions
- Resolució de problemes: complement de l'estudi individual i treball previ a les classes pràctiques

Activitats supervisades:

- Tutories individuals o en grup: orientades a resoldre dubtes, assessorar en el desenvolupament de l'assignatura o atendre altres qüestions específiques

Nota: es reservaran 15 minuts d'una classe, dins del calendari establert pel centre/titulació, perquè els alumnes completin les enquestes d'avaluació de l'actuació del professorat i d'avaluació de l'assignatura.

Avaluació

Activitats d'avaluació continuada

Títol	Pes	Hores	ECTS	Resultats d'aprenentatge
Exàmens	70%	6	0,24	2, 6, 7, 8, 9, 10, 12, 13, 14, 15, 16, 19, 20, 23

L'avaluació de l'assignatura es realitza a partir de les següents activitats:

- Exàmens. Es faran dos exàmens parcials durant el curs. Cada examen parcial avaluarà completament la PART I (EX_PART_I) i la PART II (EX_PART_II) respectivament. Juntament amb el segon examen parcial es farà una prova d'avaluació del laboratori (EX_PR). L'examen final permetrà recuperar les notes dels dos exàmens parcials (EX_PART_I, EX_PART_II) i de l'examen laboratori (EX_PR) de manera independent.
- Pràctiques. Es faran quatre pràctiques i la nota d'aquesta part es calcularà com la mitjana de la nota assolida a cadascuna de les memòries (M_PR_1, M_PR_2, M_PR_3, M_PR_4) de pràctiques ponderades amb la nota de l'examen d'avaluació del laboratori. La nota de pràctiques es calcularà com a $NPR = 0.6 * ((1/4) * (M_PR_1 + M_PR_2 + M_PR_3 + M_PR_4)) + 0.4 * EX_PR$. En cas de no entregar la memòria, la nota d'aquella pràctica serà zero (0).

La nota final de l'assignatura es calcula tenint en compte les notes obtingudes als exàmens (EX) i les pràctiques (PR), tal com s'indica a continuació: $NFA = 0.45 * EX_PART_I + 0.25 * EX_PART_II + 0.3 * NPR$.

Nota mínima

- Perquè la nota final es pugui calcular, l'estudiant haurà d'obtenir una qualificació mínima de 4 (sobre 10) a cadascuna de les parts que la componen. És a dir, l'estudiant haurà de tenir una nota mínima de 4 a l'examen de la part I, l'examen de la part II, a cadascuna de les memòries de pràctiques i a l'examen de laboratori respectivament. En cas que en alguna de les parts avaluable s'obtingui una qualificació inferior a 4, la nota final de l'assignatura serà automàticament 0, independentment de la mitjana ponderada de la resta de components. Aquest criteri té com a objectiu garantir un domini mínim en tots els aspectes clau de l'avaluació, evitant desequilibris significatius en el rendiment de l'estudiant.

Entregues fora de termini

- No s'acceptaran entregues fora dels terminis establerts a menys que siguin sol·licitats amb antelació i amb la deguda justificació (per exemple, mèdica, laboral, etc.). En cas d'entregues fora de termini sense la deguda justificació s'aplicarà una penalització d'1 punt per dia de retard en l'entrega de l'activitat a la nota.

Copia i plagiat

- Sense perjudici d'altres mesures disciplinàries que s'estimin oportunes, i d'acord amb la normativa acadèmica vigent, es qualificaran amb un zero (0) les irregularitats comeses per l'estudiant que puguin conduir a una variació de la qualificació d'un acte d'avaluació. Per tant, copiar o deixar copiar qualsevol activitat d'avaluació, incloent-hi les pràctiques i activitats, implicarà suspendre-la amb un zero (0). No seran recuperables les activitats d'avaluació qualificades d'aquesta forma i per aquest procediment i, en conseqüència, l'assignatura serà suspesa directament sense oportunitat de recuperar-la en el mateix curs acadèmic.

Ús d'intel·ligència artificial generativa

- L'ús d'eines d'intel·ligència artificial generativa per elaborar treballs, exercicis, assaigs, informes o altres activitats avaluables està estrictament prohibit, llevat que el professorat indiqui expressament el contrari. Qualsevol evidència d'ús no autoritzat d'eines d'IA generativa en l'elaboració de lliurables implicarà pèrdua automàtica de 3 punts sobre la nota final del treball o activitat en qüestió. Tots els entregables de l'assignatura passaran per a la detecció de l'ús de contingut generat per IA. S'utilitzarà l'eina següent:
 - Turnitin
- S'anima l'alumnat a desenvolupar les capacitats pròpies d'anàlisi, redacció i pensament crític. L'ús de la IA com a eina de suport pot estar permès en fases exploratòries o com a assistència tècnica.

No avaluable

- La qualificació de "No avaluable" només es podrà aconseguir en cas de no presentar-se a cap de les proves escrites d'avaluació de coneixements, és a dir, proves parcials i examen final, però sense tenir en compte pràctiques ni activitats.

Bibliografia

PART I

- A. Tanenbaum, D. Wetherall. Computer Networks. Prentice Hall. 2011.
- W. Stallings. Data and Computers Communications. Pearson Education. 2014.
- Peterson & Davie. Computer Networks: A Systems Approach. Prentice Hall. 2014.
- Kurose & Ross: Computer Networking: A Top-Down Approach. Prentice Hall. 2014.

PART II

- Bertsekas, Dimitri, and Robert Gallager. Data networks. Athena Scientific. 2021.
- M. Harchol-Balter. Performance Modeling and Design of Computer Systems: Queueing Theory in Action. Cambridge University Press. 2013.
- J. F. Shortle, J.M. Thompson, D. Gross and C. M. Harris. Fundamentals of Queueing Theory. Wiley. 2018.

Programari

Per tal de realitzar les pràctiques de l'assignatura s'utilitzarà programari compatible amb Windows, Linux i Macintosh (per exemple, Wireshark).

Grups i idiomes de l'assignatura

La informació proporcionada és provisional fins al 30 de novembre de 2025. A partir d'aquesta data, podreu consultar l'idioma de cada grup a través daquest [enllaç](#). Per accedir a la informació, caldrà introduir el CODI de l'assignatura

Nom	Grup	Idioma	Semestre	Torn
(PAUL) Pràctiques d'aula	331	Anglès	segon quadrimestre	matí-mixt
(PAUL) Pràctiques d'aula	332	Anglès	segon quadrimestre	matí-mixt
(PLAB) Pràctiques de laboratori	331	Anglès	segon quadrimestre	matí-mixt
(PLAB) Pràctiques de laboratori	332	Anglès	segon quadrimestre	matí-mixt
(PLAB) Pràctiques de laboratori	333	Anglès	segon quadrimestre	matí-mixt
(TE) Teoria	330	Anglès	segon quadrimestre	matí-mixt