

## Guia docent

### 300026 - API - Arquitectura i Protocols d'Internet

Última modificació: 06/06/2024

**Unitat responsable:** Escola d'Enginyeria de Telecomunicació i Aeroespacial de Castelldefels  
**Unitat que imparteix:** 744 - ENTEL - Departament d'Enginyeria Telemàtica.

**Titulació:** GRAU EN ENGINYERIA DE SISTEMES DE TELECOMUNICACIÓ (Pla 2009). (Assignatura obligatòria).  
GRAU EN ENGINYERIA TELEMÀTICA (Pla 2009). (Assignatura obligatòria).  
GRAU EN ENGINYERIA DE SISTEMES AEROESPACIALS (Pla 2015). (Assignatura optativa).

**Curs:** 2024      **Crèdits ECTS:** 6.0      **Idiomes:** Català, Castellà, Anglès

#### PROFESSORAT

---

**Professorat responsable:** Definit a la infoweb de l'assignatura.

**Altres:** Definit a la infoweb de l'assignatura.

#### CAPACITATS PRÈVIES

---

- Entendre conceptes fonamentals com el de protocol, pila de protocols, arquitectura de xarxa, serveis, commutació, multiplexació, entramat de la informació, adreçament.
- Conèixer tecnologies de commutació de paquets i estàndards LAN, entendre els serveis que ofereixen i conceptes comuns (domini de col·lisió i broadcast), el funcionament de dispositius d'interconnexió i problemàtiques comunes com l'accés al medi o la compartició de recursos.
- Protocol de resolució d'adreces, ARP.
- Conèixer mètriques relatives al rendiment d'una xarxa com throughput, ocupació, retard.
- Fonaments de programació, ús de sistemes operatius Linux/Unix i familiaritat amb analitzadors de protocols.

#### REQUISITS

---

Prerequisit:  
- INTERCONNEXIÓ DE XARXES

#### COMPETÈNCIES DE LA TITULACIÓ A LES QUALS CONTRIBUEIX L'ASSIGNATURA

---

##### Específiques:

1. CE 20 TELECOM. Conocimiento de la normativa y la regulación de las telecomunicaciones en los ámbitos nacional, europeo e internacional. (CIN/352/2009, BOE 20.2.2009)
2. CE 7 TELECOM. Capacidad de utilizar aplicaciones de comunicación e informáticas (ofimáticas, bases de datos, cálculo avanzado, gestión de proyectos, visualización, etc.) para apoyar el desarrollo y explotación de redes, servicios y aplicaciones de telecomunicación y electrónica. (CIN/352/2009, BOE 20.2.2009)

##### Genèriques:

6. ÚS EFICIENT D'EQUIPS I INSTRUMENTACIÓ - Nivell 2: Utilitzar correctament instrumental, equips i programari dels laboratoris d'ús específic o especialitzat, coneixent-ne les prestacions. Realitzar una anàlisi crítica dels experiments i resultats obtinguts. Interpretar correctament manuals i catàlegs. Treballar de manera autònoma, individualment o en grup, al laboratori.

##### Transversals:

3. APRENENTATGE AUTÒNOM - Nivell 1: Dur a terme les tasques encomanades en el temps previst, tot treballant amb les fonts d'informació indicades, d'acord amb les pautes marcades pel professorat.
4. TERCERA LLENGUA: Conèixer una tercera llengua, que serà preferentment l'anglès, amb un nivell adequat de forma oral i per escrit i amb consonància amb les necessitats que tindran les titulades i els titulats en cada ensenyament.
5. TREBALL EN EQUIP - Nivell 1: Participar en el treball en equip i col·laborar-hi, un cop identificats els objectius i les responsabilitats col·lectives i individuals, i decidir conjuntament l'estratègia que s'ha de seguir.

## METODOLOGIES DOCENTS

La metodologia docent es basa fonamentalment en el treball al laboratori de l'assignatura.

Les sessions de laboratori aniran precedides, habitualment, de breus resums per part del professor seguits d'un torn de preguntes per a aclarir els dubtes que hagin sorgit als alumnes durant la preparació de cada sessió. A tal efecte els alumnes disposaran amb antelació d'un llibre de pràctiques que contindrà un cos teòric de la matèria de l'assignatura i una descripció del treball de laboratori per a cada sessió. En el laboratori, els alumnes muntaran una sèrie d'escenaris i n'estudiaran el funcionament. Per aquest motiu, el llibre de laboratori inclou també un conjunt de preguntes específiques a cada tema per a il·lustrar-ne els conceptes més importants. Aquestes preguntes no s'avaluaran directament i els alumnes no hauran de lliurar cap documentació. L'objectiu de la metodologia és fomentar que els alumnes puguin seguir les idees principals de cada tema experimentalment, mentre recopilen dades que els serviran com a eina d'estudi posterior. L'objectiu de cada sessió és, per tant, triple: 1) la consolidació mitjançant l'experimentació de conceptes teòrics estudiats prèviament de forma autònoma 2) l'aprenentatge d'ús i configuració d'eines reals i 3) l'adquisició de dades per el seu estudi posterior.

## OBJECTIUS D'APRENTATGE DE L'ASSIGNATURA

En acabar l'assignatura d'Arquitectura i Protocols d'Internet, l'estudiant/a ha de ser capaç de:

- Explicar els principis del protocol IP, el funcionament d'un router, el problema de l'encaminament i el paradigma CIDR.
- Planificar l'adreçament en una xarxa.
- Distingir entre encaminament interior exterior i els paradigmes de vector distància, estat d'enllaç, i camí distància.
- Configurar diferents protocols d'encaminament dinàmic, explicar el seu funcionament i la interacció entre ells.
- Aplicar la idea de sumariació de prefixos i de redistribució.
- Distingir entre encaminament unicast, multicast i anycast.
- Explicar el funcionament i l'estructura d'Internet des de la perspectiva de l'encaminament.
- Explicar el sistema DNS. Configurar servidors DNS i gestionar l'espai de noms d'un domini.
- Distingir els nivells o capes de la pila de protocols TCP/IP; en el model d'Internet.
- Distingir els protocols de transport més utilitzats a Internet.
- Entendre el model client-servidor.
- Entendre el funcionament de serveis com el correu electrònic, web i VoIP i configurar servidors i clients per a oferir i rebre aquests serveis.
- Explicar la funcionalitat d'un tallafocs i d'un NAT. Configurar ambdós tipus de funcionalitats en Linux.

## HORES TOTALES DE DEDICACIÓ DE L'ESTUDIANTAT

| Tipus                      | Hores | Percentatge |
|----------------------------|-------|-------------|
| Hores aprenentatge autònom | 84,0  | 56.00       |
| Hores grup petit           | 52,0  | 34.67       |
| Hores activitats dirigides | 14,0  | 9.33        |

**Dedicació total:** 150 h

## CONTINGUTS

### Introducció

#### Descripció:

Presentació de l'assignatura i explicació del funcionament del laboratori.

Resum dels objectius de l'assignatura i relació amb altres assignatures del pla d'estudis.

#### Activitats vinculades:

Activitats A1, A13.

#### Dedicació:

0h 30m

Grup petit/Laboratori: 0h 30m

### Adreçament IPv4 i encaminament IP

**Descripció:**

Repàs de l'adreçament IPv4.  
Subnetting i supernetting.  
Encaminament sense classes CIDR.  
Taules d'encaminament i Longest-Prefix Matching.  
Descripció funcional d'un router.  
Encaminament unicast estàtic.

**Activitats vinculades:**

Activitats A1, A13.

**Dedicació:** 8h

Grup petit/Laboratori: 5h

Aprenentatge autònom: 3h

### Encaminament IP unicast interior

**Descripció:**

Encaminament dinàmic, algorismes i protocols d'encaminament.  
Protocol RIPv2.  
Protocol OSPF:  
· LSAs i base de dades OSPF.  
· Divisió en àrees.

**Activitats vinculades:**

Activitats A2, A3, A13.

**Dedicació:** 22h 30m

Grup petit/Laboratori: 9h

Aprenentatge autònom: 13h 30m

### Encaminament IP multicast interior

**Descripció:**

Concepte i adreçament Multicast.  
Protocol IGMP per a la gestió de grups multicast.  
Protocol PIM-SM com a exemple de protocol d'encaminament dinàmic multicast.

**Activitats vinculades:**

Activitats A4, A13

**Dedicació:** 14h 30m

Grup petit/Laboratori: 5h 30m

Aprenentatge autònom: 9h

### Encaminament IP unicast exterior

**Descripció:**

Estructura d'Internet, Sistemes Autònoms i ASNs.

Protocol BGP4:

- Paradigma camí distància.
- Funcionament d'un router BGP4.
- Atributs i polítiques d'encaminament.

**Activitats vinculades:**

Activitats A5, A13.

**Dedicació:** 24h 30m

Grup petit/Laboratori: 9h 30m

Aprenentatge autònom: 15h

### Introducció al protocol IPv6

**Descripció:**

Problemàtica actual amb IPv4.

Protocol IPv6

- Diferències respecte a IPv4 i format dels paquets.
- Adreçament IPv6.
- Encaminament IPv6.
- Funcionalitats noves: Multicast Listener Discovery, autoconfiguració, etc.

Problemàtica de la transició IPv4 a IPv6:

- Dual-Stacks.
- Túnel.

**Activitats vinculades:**

Activitats A6, A13.

**Dedicació:** 7h 30m

Grup petit/Laboratori: 3h

Aprenentatge autònom: 4h 30m

### Protocols de transport a Internet

**Descripció:**

Funcionalitats i necessitat de la capa de transport.

Protocol UDP.

Protocol TCP:

- Concepte de connexió, número de seqüència, número de reconeixement i retransmissió.
- Finestra de transmissió, finestra del receptor, finestra de congestió i finestra útil.

**Activitats vinculades:**

Activitats A7, A13.

**Dedicació:** 7h 30m

Grup petit/Laboratori: 3h

Aprenentatge autònom: 4h 30m

### El sistema de noms de domini (DNS)

**Descripció:**

Arquitectura del sistema DNS.  
FQDNs, TLDs, RRs.  
Concepte de domini, zona i delegació.  
Resolvers i servidors màster i esclaus.  
Protocol DNS.  
Resolució recursiva i iterativa.  
Desplegament a Internet.  
Suport de DNS per a IPv6.

**Activitats vinculades:**

Activitats A8, A13.

**Dedicació:** 14h 30m

Grup petit/Laboratori: 5h 30m

Aprenentatge autònom: 9h

### El correu electrònic

**Descripció:**

Servei de correu electrònic.  
Protocols SMTP, POP3 i IMAP4.  
Encaminament del correu electrònic.

**Activitats vinculades:**

Activitats A9, A13

**Dedicació:** 7h 30m

Grup petit/Laboratori: 3h

Aprenentatge autònom: 4h 30m

### La World Wide Web i el protocol HTTP

**Descripció:**

Introducció a la World Wide Web (www).  
Arquitectures web.  
Configuració de servidors web.  
Protocol HTTP.  
Web estàtica.  
Serveis web (REST).

**Activitats vinculades:**

Activitats A10, A13

**Dedicació:** 14h 30m

Grup petit/Laboratori: 5h 30m

Aprenentatge autònom: 9h

### Tallafocs (firewall) i traducció d'adreces de xarxa (NAT)

**Descripció:**

Seguretat bàsica en xarxa.  
Firewalls amb i sense estat.  
Polítiques i topologies. DMZs.  
Proxies.  
NATs: DNAT, SNAT i la seva utilitat.

**Activitats vinculades:**

Activitats A11, A13.

**Dedicació:** 14h 30m

Grup petit/Laboratori: 5h 30m

Aprenentatge autònom: 9h

### Introducció al servei de VoIP

**Descripció:**

Protocol SIP i la seva aplicació al servei de VoIP.  
Introducció al protocol SDP.  
Introducció al protocol RTP.

**Activitats vinculades:**

Activitats A12, A13.

**Dedicació:** 14h

Grup petit/Laboratori: 5h

Aprenentatge autònom: 9h

## ACTIVITATS

### Adreçament IPv4 i encaminament IP unicast estàtic

**Descripció:**

En aquesta activitat, es repassaran els conceptes d'adreçament IPv4 i d'encaminament IP i es configuraran rutes estàtiques.

**Objectius específics:**

Un cop realitzada l'activitat, l'estudiant/a serà capaç de:

- Explicar la funcionalitat i el funcionament genèric d'un router.
- Explicar el paradigma d'encaminament CIDR.
- Aplicar tècniques de subnetting per tal de desplegar un pla d'adreçament en una xarxa i entendre el procés d'agregació de prefixos (supernetting).
- Configurar les interfícies d'un router.
- Configurar les taules d'encaminament d'un router de forma estàtica.
- Explicar el procés de tria de rutes en un router en funció de la longitud dels prefixos.
- Entendre el concepte de ruta per defecte i de mètrica associada a una ruta.
- Explicar el contingut i significat dels camps que formen una taula d'encaminament i el procés de tria de rutes en funció de les seves mètriques.
- Explicar els inconvenients de la configuració estàtica de rutes.

**Material:**

Enunciat de la pràctica, bibliografia recomanada i manual del software emprat.

**Dedicació:** 8h

Aprenentatge autònom: 3h

Grup petit/Laboratori: 5h

### Encaminament dinàmic IP unicast interior. Protocol RIP

**Descripció:**

En aquesta activitat, s'estudiarà de forma pràctica el protocol d'encaminament dinàmic interior unicast RIP.

**Objectius específics:**

Un cop realitzada l'activitat, l'estudiant/a serà capaç de:

- Explicar la filosofia darrera del paradigma d'encaminament vector distància.
- Explicar la lògica darrera l'algoritme de Ford-Fulkerson/Bellman-Ford.
- Explicar el funcionament del protocol RIP i el contingut i format dels seus missatges.
- Configurar un router amb el protocol RIP i explicar el comportament d'un router RIP.
- Explicar els avantatges de l'encaminament dinàmic respecte de l'estàtic.
- Explicar les limitacions del protocol RIP i els mecanismes proposats per resoldre'ls.

**Material:**

Enunciat de la pràctica, bibliografia recomanada i manual del software emprat.

**Dedicació:** 7h

Aprenentatge autònom: 4h 30m

Grup petit/Laboratori: 2h 30m

### Encaminament dinàmic IP unicast interior. Protocol OSPF

**Descripció:**

En aquesta activitat, s'estudiarà de forma pràctica el protocol d'encaminament dinàmic interior unicast OSPF.

**Objectius específics:**

Un cop realitzada l'activitat, l'estudiant/a serà capaç de:

- Explicar la filosofia darrera del paradigma d'estat d'enllaç.
- Explicar la lògica darrera de l'algorisme de Dijkstra.
- Explicar el funcionament del protocol OSPF, els missatges que empra i el procés de distribució d'estats d'enllaç.
- Configurar un router amb el protocol OSPF i explicar-ne el funcionament.
- Desplegar el protocol OSPF en diferents àrees i aplicar summarització de rutes.
- Explicar els diferents elements que componen una base de dades OSPF, el seu significat, la seva necessitat i el seu origen.
- Explicar procediments de tria de rutes de mateix cost.
- Fer una comparativa amb els avantatges/desavantatges dels protocols RIP i OSPF.

**Material:**

Enunciat de la pràctica, bibliografia recomanada i manual del software emprat.

**Dedicació:** 14h

Aprenentatge autònom: 9h

Grup petit/Laboratori: 5h

### Encaminament IP multicast interior. Protocol PIM-SM

**Descripció:**

En aquesta activitat, s'estudiarà de forma pràctica el protocol IGMP i el protocol PIM-SM.

**Objectius específics:**

Un cop realitzada l'activitat, l'estudiant/a serà capaç de:

- Explicar el paradigma de comunicació multicast, els seus avantatges i els serveis que se'n poden beneficiar.
- Explicar les problemàtiques que cal resoldre per a oferir un servei multicast en una xarxa de commutació de paquets i com es resolen en xarxes IP.
- Identificar adreces IP multicast.
- Explicar el funcionament del protocol IGMP.
- Explicar la problemàtica de l'encaminament multicast.
- Explicar el funcionament del protocol d'encaminament multicast PIM-SM.
- Configurar el protocol PIM-SM en un router.
- Explicar el paper que juguen diferents tipus de routers en el protocol PIM-SM.
- Explicar els diferents missatges que utilitza el protocol PIM-SM i com es transmeten.
- Explicar el procés de creació d'arbres de distribució multicast, les diferències entre arbres compartits i de font i l'estructura d'una taula d'encaminament multicast.
- Explicar la relació entre l'encaminament multicast i unicast.

**Material:**

Enunciat de la pràctica, bibliografia recomanada i manual del software emprat.

**Dedicació:** 14h

Aprenentatge autònom: 9h

Grup petit/Laboratori: 5h

### Encaminament dinàmic IP unicast exterior. Protocol BGP

**Descripció:**

En aquesta activitat, s'estudiarà de forma pràctica el protocol d'encaminament dinàmic exterior BGP4.

**Objectius específics:**

Un cop realitzada l'activitat, l'estudiant/a serà capaç de:

- Explicar l'estructura d'Internet i el concepte de sistema autònom.
- Explicar la motivació i necessitat d'un protocol d'encaminament exterior i el paradigma de vector camí.
- Explicar el funcionament del protocol BGP i els missatges que utilitza.
- Explicar la funcionalitat de diferents atributs BGP.
- Entendre la funcionalitat genèrica d'un router BGP4 i els graus de llibertat que ofereix.
- Explicar el procés de tria de rutes en un router BGP.
- Configurar un router BGP4 i els atributs de les rutes per a desplegar polítiques d'encaminament.

**Material:**

Enunciat de la pràctica, bibliografia recomanada i manual del software emprat.

**Dedicació:** 22h 30m

Aprenentatge autònom: 15h

Grup petit/Laboratori: 7h 30m

## Introducció al protocol IPv6

### Descripció:

En aquesta activitat, s'estudiarà de forma pràctica el protocol IPv6.

### Objectius específics:

Un cop realitzada l'activitat, l'estudiant/a serà capaç de:

- Explicar la problemàtica del protocol IPv4.
- Explicar el funcionament del protocol IPv6 i les seves diferències amb IPv4.
- Explicar l'encaminament a IPv6.
- Explicar el procés d'autoconfiguració de hosts en IPv6.
- Configurar les adreces d'un router o host IPv6.
- Explicar la problemàtica de migració de IPv4 a IPv6.
- Configurar túnels.
- Configurar un protocol d'encaminament dinàmic en una xarxa IPv6.

### Material:

Enunciat de la pràctica, bibliografia recomanada i manual del software emprat.

### Dedicació: 7h

Aprenentatge autònom: 4h 30m

Grup petit/Laboratori: 2h 30m

## Protocols de transport a Internet

### Descripció:

En aquesta activitat, s'estudiarà de forma teòrica i de forma pràctica la necessitat i funcionalitats de la capa de transport, i els protocols de transport estàndards més utilitzats: TCP i UDP.

### Objectius específics:

Un cop realitzada l'activitat, l'estudiant/a serà capaç de:

- Explicar la necessitat de protocols de transport.
- Explicar el funcionament i les propietats de diferents protocols de transport.
- Explicar les diferències entre protocols de transport.
- Explicar el procediment d'establiment i tancament d'una connexió TCP, la necessitat d'ambdós i la seqüència d'estats que segueix una connexió TCP.
- Explicar les diferències entre protocols de transport orientats o no a connexió.
- Explicar la funcionalitat dels diferents camps de la capçalera TCP, com número de seqüència, número de reconeixement, ports, finestra anunciada i flags.
- Explicar el concepte de finestra i el mecanisme de control de flux del protocol TCP.
- Explicar el concepte de finestra de congestió.

### Material:

Manual de la pràctica i bibliografia recomanada.

### Dedicació: 7h

Aprenentatge autònom: 4h 30m

Grup petit/Laboratori: 2h 30m

### El sistema de noms de domini (DNS)

**Descripció:**

En aquesta activitat, s'estudiarà de forma pràctica el funcionament del sistema DNS.

**Objectius específics:**

Un cop realitzada l'activitat, l'estudiant/a serà capaç de:

- Explicar l'arquitectura del sistema DNS, els seus components i l'estructura de l'espai de noms de domini
- Explicar el procés de resolució de noms de domini i els elements qui hi intervenen
- Configurar un servidor DNS com a master i slave
- Configurar els fitxers de zona d'un servidor DNS i delegar subdominis
- Configurar un host per a que utilitzi un servidor DNS
- Interrogar un servidor DNS amb eines de diagnòstic
- Explicar el contingut i utilitat de diferents RRs
- Emprar eines de gestió de servidors DNS
- Explicar el suport de DNS per a IPv6.

**Material:**

Enunciat de la pràctica, bibliografia recomanada i manual del software emprat

**Dedicació:** 14h

Aprenentatge autònom: 9h

Grup petit/Laboratori: 5h

### El correu electrònic (e-mail)

**Descripció:**

En aquesta activitat, s'estudiarà de forma pràctica el funcionament del correu electrònic.

**Objectius específics:**

Un cop realitzada l'activitat, l'estudiant/a serà capaç de:

- Explicar el funcionament dels protocols SMTP, POP4 i IMAP3 i les seves diferències.
- Explicar l'encaminament del correu electrònic i la relació amb el sistema DNS.
- Configurar un servidor SMTP, POP i IMAP en Linux.
- Configurar clients de correu i gestionar-ne els comptes.

**Material:**

Enunciat de la pràctica, bibliografia recomanada i manual del software emprat.

**Dedicació:** 7h

Aprenentatge autònom: 4h 30m

Grup petit/Laboratori: 2h 30m

### La World Wide Web i el protocol HTTP

**Descripció:**

En aquesta activitat, s'estudiarà de forma pràctica el funcionament de la WWW i el protocol HTTP.

**Objectius específics:**

Un cop realitzada l'activitat, l'estudiant/a serà capaç de:

- Explicar el protocol HTTP: procediments bàsics, tipus i format dels missatges.
- Explicar el funcionament de la WWW.
- Configurar un servidor Web per a visualitzar continguts i oferir un cert servei.
- Configurar un servidor Web amb diversos hosts virtuals i explicar la relació amb el sistema DNS.
- Utilitzar i configurar serveis web (REST).

**Material:**

Enunciat de la pràctica, bibliografia recomanada i manual del software emprat.

**Dedicació:** 14h

Aprenentatge autònom: 9h

Grup petit/Laboratori: 5h

### Tallafocs (firewall) i traducció d'adreces de xarxa (NAT)

**Descripció:**

En aquesta activitat, s'estudiarà de forma pràctica el funcionament d'un tallafocs i d'un NAT.

**Objectius específics:**

Un cop realitzada l'activitat, l'estudiant/a serà capaç de:

- Explicar el funcionament d'un tallafocs i d'un NAT. Distingir entre un firewall amb estat o sense.
- Explicar la necessitat de NATs i les diferències entre SNAT i DNAT.
- Explicar topologies de desplegaments de tallafocs i identificar-ne els avantatges i desavantatges.
- Distingir entre adreces IP públiques i privades.
- Configurar regles senzilles a tallafocs i NATs.
- Desplegar una política de seguretat a una xarxa.

**Material:**

Enunciat de la pràctica, bibliografia recomanada i manual del software emprat.

**Dedicació:** 14h

Aprenentatge autònom: 9h

Grup petit/Laboratori: 5h



### Introducció al servei de VoIP

**Descripció:**

En aquesta activitat, es farà una introducció pràctica al servei de VoIP.

**Objectius específics:**

Un cop realitzada l'activitat, l'estudiant/a serà capaç de:

- Explicar les funcions i les capçaleres dels missatges RTP (en especial els relacionats amb el servei de VoIP).
- Explicar la funció i el format dels missatges SDP (especialment els camps relacionats amb el servei de VoIP).
- Explicar les característiques principals i el format dels missatges del protocol SIP.
- Desplegar i posar en marxa escenaris simples de VoIP.

**Material:**

Enunciat de la pràctica, bibliografia recomanada i manual del software emprat.

**Dedicació:** 14h

Aprenentatge autònom: 9h

Grup petit/Laboratori: 5h

### Activitats avaluable (controls i pràctiques que s'avaluen)

**Descripció:**

En aquestes activitats s'avaluaran els coneixements adquirits pels estudiants.

**Dedicació:** 7h 30m

Grup petit/Laboratori: 7h 30m

## SISTEMA DE QUALIFICACIÓ

S'aplicaran els criteris d'avaluació definits a la infoweb de l'assignatura.

## NORMES PER A LA REALITZACIÓ DE LES PROVES.

Les pràctiques al laboratori són obligatòries. La falta d'assistència no justificada a 3 o més sessions de laboratori pot suposar la qualificació de suspens de l'assignatura.

## BIBLIOGRAFIA

**Bàsica:**

- Stevens, W. Richard; Wright, Gary R.; Fall, Kevin R. TCP/IP illustrated. Reading, MA [etc.]: Addison-Wesley, 1994-1996. ISBN 0201633469.
- Stallings, William. Data and computer communications [en línia]. 8th ed. Upper Saddle River, NJ: Pearson Education International, 2009 [Consulta: 22/12/2022]. Disponible a : <https://ebookcentral-proquest-com.recursos.biblioteca.upc.edu/lib/upcatalunya-ebooks/detail.action?pq-origsite=primo&docID=5173650>. ISBN 9780135071397.
- Keshav, Srinivasan. An engineering approach to computer networking : ATM networks, the internet, and the telephone network. Reading, Mass.: Addison-Wesley, 1997. ISBN 0201634422.
- Hall, Eric A. Internet core protocols : the definitive guide [en línia]. Cambridge, Mass.: O'Reilly, 2000 [Consulta: 26/07/2022]. Disponible a : <https://ebookcentral-proquest-com.recursos.biblioteca.upc.edu/lib/upcatalunya-ebooks/detail.action?pq-origsite=primo&docID=540757>. ISBN 1565925726.
- Huitema, Christian. Routing in the internet. 2nd ed. Upper Saddle River, NJ: Prentice Hall PTR, 2000. ISBN 0130226475.
- Perlman, Radia. Interconnections : bridges, routers, switches, and internetworking protocols. 2nd ed. Reading, MA: Addison-Wesley Pub. Co, 2000. ISBN 0201634481.



**Complementària:**

- Halabi, Bassam. Internet routing architectures. Indianapolis: Cisco Press, 2001. ISBN 157870233X.
- Zwicky, Elizabeth D.; Chapman, D. Brent; Cooper, Simon. Building Internet Firewalls. 2nd ed. Sebastopol: O'Reilly & Associates, 2000. ISBN 1565928717.
- Doyle, Jeff; Carroll, Jennifer DeHaven. Routing TCP/IP. 2nd ed. Indianapolis: Cisco Press, 2005-2006. ISBN 9781587052026.
- Malhotra, Ravi. IP routing. Beijing [etc.]: O'Reilly, 2002. ISBN 0596002750.
- Kosiur, David R. IP multicasting : the complete guide to interactive corporate networks. New York [etc.]: John Wiley & Sons, 1998. ISBN 0471243590.