

# Transmisión de datos y redes de computadores

2.<sup>a</sup> edición

Pedro García Teodoro  
Jesús Esteban Díaz Verdejo  
Juan Manuel López Soler  
*Universidad de Granada*



PEARSON

Datos de catalogación bibliográfica	
Transmisión de datos y redes de computadores, 2.ª edición <i>Pedro García Teodoro, Jesús Esteban Díaz Verdejo, Juan Manuel López Soler</i>	
PEARSON EDUCACIÓN, S.A., Madrid, 2014	
ISBN: 9788490354612 ISBN eBook: 9788490354629	
Materia: Informática 681.3	
Formato: 195 × 250 mm	Páginas: 520

Cualquier forma de reproducción, distribución, comunicación pública o transformación de esta obra solo puede ser realizada con la autorización de sus titulares, salvo excepción prevista por la ley.  
Diríjase a CEDRO (Centro Español de Derechos Reprográficos), si necesita fotocopiar o escanear algún fragmento de esta obra. ([www.conlicencia.com](http://www.conlicencia.com); 91 702 19 70 / 93 272 04 47)

Todos los derechos reservados.

© 2014 PEARSON EDUCACIÓN, S.A.  
C/ Ribera del Loira, 28  
28042 Madrid (España)  
[www.pearson.es](http://www.pearson.es)

ISBN: 978-84-9035-461-2  
ISBN eBook: 978-84-9035-462-9  
Depósito Legal: M-16202-2014

Equipo de edición:  
Editor: Miguel Martín-Romo

Equipo de diseño:  
Diseñadora Senior: Elena Jaramillo

Equipo de producción:  
Directora de producción: Marta Illescas  
Coordinadora: Tini Cardoso

Diseño de cubierta: Equipo de diseño de Pearson Educación  
Composición: Copibook, S.L.  
Impreso por: Lavel

*Nota sobre enlaces a páginas web ajenas:* este libro incluye enlaces a sitios web cuya gestión, mantenimiento y control son responsabilidad única y exclusiva de terceros ajenos a PEARSON EDUCACIÓN, S.A. Los enlaces u otras referencias a sitios web se incluyen con finalidad estrictamente informativa y se proporcionan en el estado en que se encuentran en el momento de publicación sin garantías, expresas o implícitas, sobre la información que se proporcione en ellas. Los enlaces no implican el aval de PEARSON EDUCACIÓN S.A. a tales sitios, páginas web, funcionalidades y sus respectivos contenidos o cualquier asociación con sus administradores. En consecuencia, PEARSON EDUCACIÓN S.A., no asume responsabilidad alguna por los daños que se puedan derivar de hipotéticas infracciones de los derechos de propiedad intelectual y/o industrial que puedan contener dichos sitios web ni por las pérdidas, delitos o los daños y perjuicios derivados, directa o indirectamente, del uso de tales sitios web y de su información. Al acceder a tales enlaces externos de los sitios web, el usuario estará bajo la protección de datos y políticas de privacidad o prácticas y otros contenidos de tales sitios web y no de PEARSON EDUCACIÓN S.A.

Este libro ha sido impreso con papel y tintas ecológicos



# CONTENIDO

PRÓLOGO	XI
---------	----

PARTE I	
FUNDAMENTOS DE REDES, REDES LAN Y WAN	1

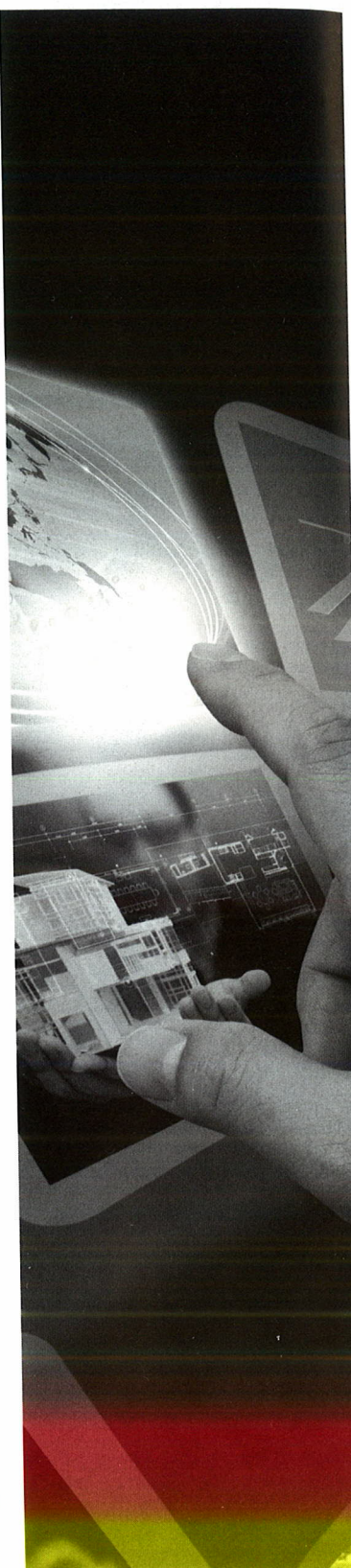
CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN	3
1.1. Sistemas de comunicación y redes de computadores	4
1.2. Estructura de las redes	5
1.3. Diseño y estandarización de redes: modelos de referencia OSI y TCP/IP	9
1.4. Terminología y servicios	11
1.5. Ejemplos de redes	14
Resumen	16
Ejercicios	17
Bibliografía	18

CAPÍTULO 2. TRANSMISIÓN DE DATOS	19
2.1. Análisis de señal	20
2.1.1. Señales	20
2.1.2. Análisis de Fourier. Espectro y ancho de banda	21
2.1.3. Teorema de muestreo	24
2.2. Medios de transmisión	27
2.2.1. Capacidad de canal	28
2.2.2. Limitaciones de los medios de transmisión	30
2.2.3. Tipos de medios de transmisión	32
2.3. Modos de transmisión. Modulación	40
2.3.1. Señales analógicas, transmisión digital	41
2.3.2. Señales digitales, transmisión digital	44
2.3.3. Señales digitales, transmisión analógica	50
2.3.4. Señales analógicas, transmisión analógica	53
2.4. Interfaces	57
2.4.1. RS-232	60
2.4.2. USB	62
2.4.3. Conexiones RJ-45	64
Resumen	64
Ejercicios	65
Bibliografía	67

CAPÍTULO 3. MEDIOS COMPARTIDOS Y CONTROL DE ACCESO	69
3.1. Introducción	69
3.2. Multiplexación	71
3.2.1. Multiplexación por división en frecuencias	72
3.2.2. Multiplexación por división en el tiempo	73
3.2.3. Técnicas de espectro expandido	76
3.2.4. Discusión	78
3.3. Técnicas de contención	79
3.3.1. ALOHA puro y ALOHA ranurado	79
3.3.2. CSMA	82



3.3.3. CSMA/CD	84
3.3.4. CSMA/CA	87
3.4. Protocolos libres de colisión	89
3.4.1. Basados en reserva	89
3.4.2. Basados en consulta	90
3.4.3. Contención limitada	91
3.5. Jerarquías digitales síncronas	92
Resumen	94
Ejercicios	94
Bibliografía	97
<b>APÉNDICE CAPÍTULO 3. TEORÍA DE COLAS</b>	<b>98</b>
3.A1. Introducción	98
3.A2. Caracterización de un sistema de colas	99
3.A3. Ejemplos de sistemas de colas	100
3.A4. Aplicación al análisis de prestaciones en TDM	102
<b>CAPÍTULO 4. CONTROL DEL ENLACE DE DATOS</b>	<b>105</b>
4.1. Introducción	105
4.2. Delimitación de tramas	106
4.3. Códigos para la gestión de errores	109
4.3.1. Códigos de corrección	111
4.3.2. Códigos de detección de errores	113
4.3.3. Códigos convolucionales	115
4.4. Control de flujo	118
4.4.1. Señalización	120
4.4.2. Protocolo de parada y espera	121
4.4.3. Esquema de ventana deslizante	124
4.5. Técnicas ARQ	131
4.5.1. ARQ de parada y espera	133
4.5.2. ARQ de vuelta atrás N	136
4.5.3. ARQ de repetición selectiva	139
4.6. Ejemplo de protocolo de control de enlace: LLC	141
Resumen	144
Ejercicios	146
Bibliografía	150
<b>CAPÍTULO 5. REDES DE ÁREA LOCAL Y DE ACCESO</b>	<b>151</b>
5.1. Introducción	151
5.2. Redes de área local	152
5.2.1. Arquitectura de redes LAN	152
5.2.2. Redes Ethernet	156
5.3.3. Redes WLAN	162
5.3. Redes PAN	168
5.3.1. Bluetooth	168
5.3.2. USB	171
5.3.3. ZigBee	175
5.4. Redes de acceso	177
5.4.1. Tecnologías ADSL	178
5.4.2. Redes de cable	181
5.4.3. Redes celulares	184
Resumen	188
Ejercicios	188
Bibliografía	190



<b>CAPÍTULO 6. ENCAMINAMIENTO E INTERCONEXIÓN DE REDES</b>	<b>191</b>
6.1. Introducción	191
6.2. Conceptos y técnicas de conmutación	192
6.2.1. Conmutación de circuitos	192
6.2.2. Conmutación de paquetes	194
6.2.3. Comparación de las técnicas de conmutación	197
6.2.4. Conmutación basada en etiquetas: MPLS	205
6.3. Encaminamiento	206
6.3.1. Fundamentos	207
6.3.2. Encaminamiento de mínimo coste	208
6.3.3. Algoritmos de encaminamiento según el lugar y la fuente de decisión	210
6.3.4. Otros algoritmos de encaminamiento	215
6.4. Interconexión de redes	218
6.4.1. Principios de interconexión	219
6.4.2. Routers e interconexión de redes	219
6.4.3. VLAN y LAN conmutadas	222
Resumen	223
Ejercicios	223
Bibliografía	227
<b>CAPÍTULO 7. CONTROL DE CONGESTIÓN Y DEL TRÁFICO</b>	<b>229</b>
7.1. Control de congestión	229
7.1.1. Causas y efectos de la congestión	229
7.1.2. Eficacia versus equidad	232
7.1.3. Variantes del control de congestión	233
7.1.4. Tipos de respuesta: MIMD, AIAD, AIMD, MIAD	236
7.1.5. Imparcialidad	238
7.2. Calidad de servicio y control del tráfico	239
7.2.1. Arquitectura genérica de un router de conmutación de paquetes	240
7.2.2. Clasificador	242
7.2.3. Control de admisión	243
7.2.4. Conformación del tráfico	245
7.2.5. Gestión activa de colas	247
7.2.6. Planificación	249
7.3. QoS garantizada	254
Resumen	255
Ejercicios	256
Bibliografía	257

## PARTE II

### INTERNET, ARQUITECTURA TCP/IP, PROTOCOLOS Y SERVICIOS 259

<b>CAPÍTULO 8. FUNDAMENTOS DE INTERNET</b>	<b>261</b>
8.1. Introducción	261
8.2. Historia y organización de Internet	264
8.3. Estructura y arquitectura de Internet	265
8.4. Direccionamiento Internet	269
8.5. Protocolos de resolución de direcciones	272
8.6. Debilidades del direccionamiento IP	275
8.7. Máscaras de red	276
8.7.1. Asignación de sub-redes	277
8.7.2. Asignación de súper-redes: CIDR	278
8.8. Traducción de direcciones de red	279





Resumen.....	280
Ejercicios.....	280
Bibliografía y sitios web.....	282

## CAPÍTULO 9. PROTOCOLOS PARA LA INTERCONEXIÓN DE REDES 283

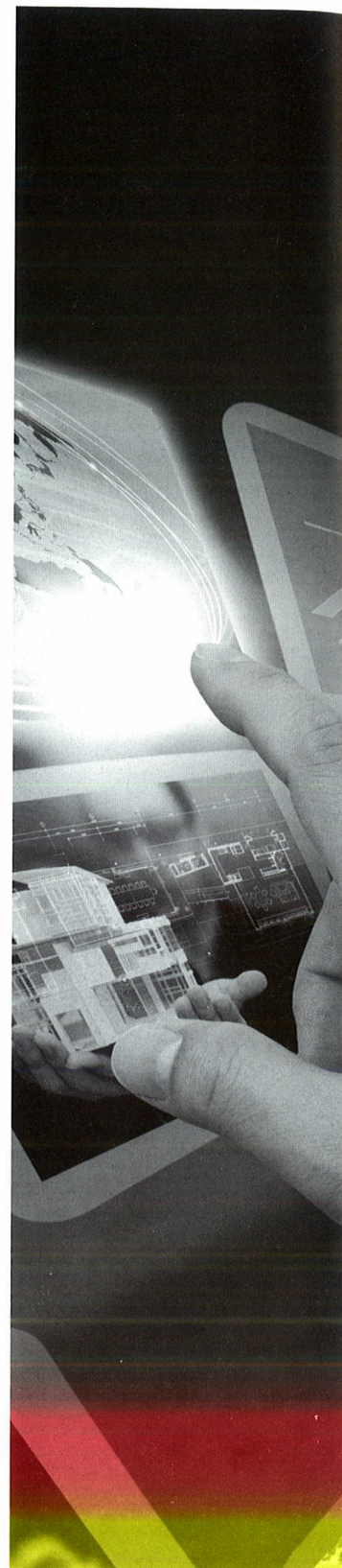
9.1. Protocolo Internet: IP.....	283
9.1.1. Datagrama y funcionalidad IP.....	284
9.1.2. IPv6.....	289
9.2. Mensajes de control de Internet: protocolo ICMP.....	295
9.2.1. ICMPv6.....	299
9.3. Encaminamiento dinámico en Internet.....	300
9.3.1. Protocolos de encaminamiento interiores.....	301
9.3.2. Protocolo exterior BGP.....	308
9.4. Encaminamiento multidestino en Internet.....	312
9.4.1. Direccionamiento IP <i>multicast</i> .....	312
9.4.2. Gestión de grupos: IGMP.....	317
9.4.3. Algoritmos de encaminamiento <i>multicast</i> en Internet.....	319
Resumen.....	323
Ejercicios.....	323
Bibliografía.....	327

## CAPÍTULO 10. PROTOCOLOS EXTREMO A EXTREMO 329

10.1. Introducción.....	329
10.2. Protocolo de datagrama de usuario (UDP).....	330
10.3. Protocolo de control de transmisión (TCP).....	332
10.3.1. Multiplexación.....	334
10.3.2. Control de la conexión.....	335
10.3.3. Control de errores.....	339
10.3.4. Control de flujo.....	342
10.3.5. Control de congestión en TCP.....	344
10.3.6. Temporizadores de TCP.....	346
10.3.7. Extensiones TCP.....	347
10.4. Modelado analítico de TCP.....	348
10.4.1. Cálculo de la velocidad de transmisión.....	348
10.4.2. Cálculo de la latencia.....	350
Resumen.....	353
Ejercicios.....	354
Bibliografía.....	355

## CAPÍTULO 11. SERVICIOS INTERNET 357

11.1. Introducción.....	357
11.2. El modelo cliente-servidor.....	357
11.2.1. La interfaz <i>socket</i> .....	360
11.2.2. Tipos de servidores.....	364
11.2.3. Otros tipos de servidores.....	366
11.3. Sistema de nombres de dominio (DNS).....	368
11.4. Acceso remoto.....	374
11.4.1. TELNET.....	374
11.4.2. SSH.....	376
11.5. Servicio de correo electrónico.....	377
11.5.1. Formato de los mensajes <i>email</i> .....	378
11.5.2. Protocolo simple de transferencia de correo electrónico (SMTP).....	379
11.5.3. Extensiones MIME.....	381
11.5.4. Protocolos de correo de entrega final.....	383



11.6. WWW y transferencia de hipertexto: servicio HTTP.....	388
11.7. Aplicaciones multimedia en Internet.....	390
11.7.1. Servicio de vídeo <i>streaming</i> : YouTube.....	391
Resumen.....	394
Ejercicios.....	394
Bibliografía.....	396

## CAPÍTULO 12. GESTIÓN Y SEGURIDAD EN REDES 399

12.1. Introducción.....	399
12.2. Gestión de redes.....	401
12.2.1. Fundamentos de gestión.....	401
12.2.2. Gestión de redes TCP/IP.....	402
12.2.3. Gestión en redes OSI.....	407
12.3. Seguridad en redes de computadores.....	410
12.3.1. Fundamentos de seguridad.....	410
12.3.2. Protocolos de comunicación seguros.....	433
12.3.3. Control de accesos.....	440
12.3.4. Seguridad en sistemas.....	447
12.3.5. Aspectos legales y éticos de la seguridad.....	456
Resumen.....	458
Ejercicios.....	459
Bibliografía.....	460

## CAPÍTULO 13. GESTIÓN DE LA MOVILIDAD DEL USUARIO 463

13.1. Motivación.....	463
13.2. Provisión de movilidad en la capa de enlace.....	464
13.3. Provisión de movilidad en la capa de red: IP móvil.....	465
13.3.1. Descubrimiento de la dirección CA.....	466
13.3.2. Registro de la dirección CA.....	468
13.3.3. Envío mediante túnel a CA.....	470
13.3.4. MIPv6.....	471
13.4. Provisión de movilidad en la capa de transporte.....	472
13.4.1. SCTP.....	472
13.4.2. MPTCP.....	475
13.4.3. MSOCKS.....	478
13.5. Provisión de movilidad en la capa de aplicación.....	479
13.5.1. Movilidad basada en DNS: DDNS.....	480
13.5.2. Movilidad mediante SIP.....	480
Resumen.....	486
Ejercicios.....	487
Bibliografía.....	487

