

---

# Contenido

---

PREFACIO	xvii
<b>1 INTRODUCCIÓN A LOS SISTEMAS DISTRIBUIDOS</b>	<b>1</b>
1.1 ¿QUÉ ES UN SISTEMA DISTRIBUIDO?	2
1.2 OBJETIVOS	3
1.2.1 Ventajas de los sistemas distribuidos con respecto de los centralizados	3
1.2.2 Ventajas de los sistemas distribuidos con respecto de las PC independientes	6
1.2.3 Desventajas de los sistemas distribuidos	6
1.3 CONCEPTOS DE HARDWARE	8
1.3.1 Multiprocesadores con base en buses	10
1.3.2 Multiprocesadores con conmutador	12
1.3.3 Multicomputadoras con base en buses	13
1.3.4 Multicomputadoras con conmutador	14
1.4 CONCEPTOS DE SOFTWARE	15
1.4.1 Sistemas operativos de redes	16
1.4.2 Sistemas realmente distribuidos	18
1.4.3 Sistemas de multiprocesador con tiempo compartido	20
1.5 ASPECTOS DEL DISEÑO	22
1.5.1 Transparencia	22
1.5.2 Flexibilidad	25
1.5.3 Confiabilidad	27
1.5.4 Desempeño	28

- 1.5.5 Escalabilidad 29
- 1.6 RESUMEN 31

## **2 COMUNICACIÓN EN LOS SISTEMAS DISTRIBUIDOS**

34

- 2.1 PROTOCOLOS CON CAPAS 35
  - 2.1.1 La capa física 38
  - 2.1.2 La capa de enlace de datos 38
  - 2.1.3 La capa de red 40
  - 2.1.4 La capa de transporte 40
  - 2.1.5 La capa de sesión 41
  - 2.1.6 La capa de presentación 41
  - 2.1.7 La capa de aplicación 42
- 2.2 REDES CON MODO DE TRANSFERENCIA ASÍNCRONA 42
  - 2.2.1 ¿Qué es el modo de transferencia asíncrona? 42
  - 2.2.2 La capa física ATM 44
  - 2.2.3 La capa ATM 45
  - 2.2.4 La capa de adaptación ATM 46
  - 2.2.5 Conmutación ATM 47
  - 2.2.6 Algunas implicaciones del ATM para sistemas distribuidos 49
- 2.3 EL MODELO CLIENTE-SERVIDOR 50
  - 2.3.1 Clientes y servidores 51
  - 2.3.2 Un ejemplo cliente-servidor 52
  - 2.3.3 Direccionamiento 56
  - 2.3.4 Primitivas con bloqueo vs. sin bloqueo 58
  - 2.3.5 Primitivas almacenadas en buffer vs. no almacenadas 61
  - 2.3.6 Primitivas confiables vs. no confiables 63
  - 2.3.7 Implantación del modelo cliente-servidor 65
- 2.4 LLAMADA A UN PROCEDIMIENTO REMOTO (RPC) 68
  - 2.4.1 Operación básica de RPC 68
  - 2.4.2 Transferencia de parámetros 72
  - 2.4.3 Conexión dinámica 77
  - 2.4.4 Semántica de RPC en presencia de fallas 80
  - 2.4.5 Aspectos de la implantación 84
  - 2.4.6 Áreas de problemas 95
- 2.5 COMUNICACIÓN EN GRUPO 99
  - 2.5.1 Introducción a la comunicación en grupo 99
  - 2.5.2 Aspectos del diseño 101
  - 2.5.3 Comunicación en grupo en ISIS 110
- 2.6 RESUMEN 114

**3 SINCRONIZACIÓN EN SISTEMAS DISTRIBUIDOS**

118

- 3.1 SINCRONIZACIÓN DE RELOJES 119
  - 3.1.1 Relojes lógicos 120
  - 3.1.2 Relojes físicos 124
  - 3.1.3 Algoritmos para la sincronización de relojes 127
  - 3.1.4 Uso de relojes sincronizados 132
- 3.2 EXCLUSIÓN MUTUA 134
  - 3.2.1 Un algoritmo centralizado 134
  - 3.2.2 Un algoritmo distribuido 135
  - 3.2.3 Un algoritmo de anillo de fichas 138
  - 3.2.4 Comparación de los tres algoritmos 139
- 3.3 ALGORITMOS DE ELECCIÓN 140
  - 3.3.1 El algoritmo del grandulón 141
  - 3.3.2 Un algoritmo de anillo 143
- 3.4 TRANSACCIONES ATÓMICAS 144
  - 3.4.1 Introducción a las transacciones atómicas 144
  - 3.4.2 El modelo de transacción 145
  - 3.4.3 Implantación 150
  - 3.4.4 Control de concurrencia 154
- 3.5 BLOQUEOS EN SISTEMAS DISTRIBUIDOS 158
  - 3.5.1 Detección distribuida de bloqueos 159
  - 3.5.2 Prevención distribuida de bloqueos 163
- 3.6 RESUMEN 165

**4 PROCESOS Y PROCESADORES EN SISTEMAS DISTRIBUIDOS**

169

- 4.1 HILOS 169
  - 4.1.1 Introducción a los hilos 170
  - 4.1.2 Uso de hilos 171
  - 4.1.3 Aspectos del diseño de paquetes de hilos 174
  - 4.1.4 Implantación de un paquete de hilos 178
  - 4.1.5 Hilos y RPC 184
- 4.2 MODELOS DE SISTEMAS 186
  - 4.2.1 El modelo de estación de trabajo 186
  - 4.2.2 Uso de estaciones de trabajo inactivas 189
  - 4.2.3 El modelo de la pila de procesadores 193
  - 4.2.4 Un modelo híbrido 197
- 4.3 ASIGNACIÓN DE PROCESADORES 197
  - 4.3.1 Modelos de asignación 197
  - 4.3.2 Aspectos del diseño de algoritmos de asignación de procesadores 199

4.3.3	Aspectos de la implantación de algoritmos de asignación de procesadores	201
4.3.4	Ejemplo de algoritmos de asignación de procesadores	203
4.4	PLANIFICACIÓN EN SISTEMAS DISTRIBUIDOS	210
4.5	TOLERANCIA DE FALLAS	212
4.5.1	Fallas de componentes	212
4.5.2	Fallas de sistema	213
4.5.3	Sistemas síncronos vs. asíncronos	214
4.5.4	Uso de redundancia	214
4.5.5	Tolerancia de fallas mediante réplica activa	215
4.5.6	Tolerancia de fallas mediante respaldo primario	217
4.5.7	Acuerdos en sistemas defectuosos	219
4.6	SISTEMAS DISTRIBUIDOS DE TIEMPO REAL	223
4.6.1	¿Qué es un sistema de tiempo real?	223
4.6.2	Aspectos del diseño	226
4.6.3	Comunicación en tiempo real	230
4.6.4	Planificación de tiempo real	234
4.7	RESUMEN	240

<b>5</b>	<b>SISTEMAS DISTRIBUIDOS DE ARCHIVOS</b>	<b>245</b>
5.1	DISEÑO DE LOS SISTEMAS DISTRIBUIDOS DE ARCHIVOS	246
5.1.1	La interfaz del servicio de archivos	246
5.1.2	La interfaz del servidor de directorios	248
5.1.3	Semántica de los archivos compartidos	253
5.2	IMPLANTACIÓN DE UN SISTEMA DISTRIBUIDO DE ARCHIVOS	256
5.2.1	Uso de archivos	256
5.2.2	Estructura del sistema	258
5.2.3	Ocultamiento	262
5.2.4	Réplica	268
5.2.5	Un ejemplo: el sistema de archivos de red (NFS) de Sun	272
5.2.6	Lecciones aprendidas	278
5.3	TENDENCIAS EN LOS SISTEMAS DISTRIBUIDOS DE ARCHIVOS	279
5.3.1	Hardware reciente	280
5.3.2	Escalabilidad	282
5.3.3	Redes de área amplia	283
5.3.4	Usuarios móviles	284
5.3.5	Tolerancia de fallas	284
5.3.6	Multimedia	285
5.4	RESUMEN	285

<b>6</b>	<b>MEMORIA COMPARTIDA DISTRIBUIDA</b>	<b>289</b>
6.1	INTRODUCCIÓN	290
6.2	¿QUÉ ES LA MEMORIA COMPARTIDA?	292
6.2.1	Memoria en circuitos	293
6.2.2	Multiprocesadores basados en un bus	293
6.2.3	Multiprocesadores basados en un anillo	298
6.2.4	Multiprocesadores con conmutador	301
6.2.5	Multiprocesadores NUMA	307
6.2.6	Comparación de los sistemas con memoria compartida	311
6.3	MODELOS DE CONSISTENCIA	315
6.3.1	Consistencia estricta	315
6.3.2	Consistencia secuencial	317
6.3.3	Consistencia causal	321
6.3.4	Consistencia PRAM y consistencia del procesador	322
6.3.5	Consistencia débil	325
6.3.6	Consistencia de liberación	327
6.3.7	Consistencia de entrada	330
6.3.8	Resumen de modelos de consistencia	331
6.4	MEMORIA COMPARTIDA DISTRIBUIDA CON BASE EN PÁGINAS	333
6.4.1	Diseño básico	334
6.4.2	Réplica	334
6.4.3	Granularidad	335
6.4.4	Obtención de la consistencia secuencial	337
6.4.5	Búsqueda del propietario	339
6.4.6	Búsqueda de las copias	342
6.4.7	Reemplazo de página	343
6.4.8	Sincronización	344
6.5	MEMORIA COMPARTIDA DISTRIBUIDA CON VARIABLES COMPARTIDAS	345
6.5.1	Munin	346
6.5.2	Midway	353
6.6	MEMORIA COMPARTIDA DISTRIBUIDA BASADA EN OBJETOS	356
6.6.1	Objetos	356
6.6.2	Linda	358
6.6.3	Orca	365
6.7	COMPARACIÓN	371
6.8	RESUMEN	372

<b>7</b>	<b>ESTUDIO 1: AMOEBAS</b>	<b>376</b>
7.1	INTRODUCCIÓN A AMOEBAS	376
7.1.1	Historia de Amoeba	376
7.1.2	Objetivos de investigación	377
7.1.3	La arquitectura del sistema Amoeba	378
7.1.4	El micronúcleo de Amoeba	380
7.1.5	Los servidores de Amoeba	382
7.2	OBJETOS Y POSIBILIDADES EN AMOEBAS	384
7.2.1	Posibilidades	384
7.2.2	Protección de objetos	385
7.2.3	Operaciones estándar	387
7.3	ADMINISTRACIÓN DE PROCESOS EN AMOEBAS	388
7.3.1	Procesos	388
7.3.2	Hilos	391
7.4	ADMINISTRACIÓN DE MEMORIA EN AMOEBAS	392
7.4.1	Segmentos	392
7.4.2	Segmentos asociados	393
7.5	COMUNICACIÓN EN AMOEBAS	393
7.5.1	Llamada a un procedimiento remoto (RPC)	394
7.5.2	Comunicación en grupo en Amoeba	398
7.5.3	El protocolo Internet Fast Local (FLIP)	407
7.6	LOS SERVIDORES DE AMOEBAS	415
7.6.1	El servidor de archivos	415
7.6.2	El servidor de directorios	420
7.6.3	El servidor de réplicas	425
7.6.4	El servidor de ejecución	425
7.6.5	El servidor de arranque	427
7.6.6	El servidor TCP/IP	427
7.6.7	Otros servidores	428
7.7	RESUMEN	428
<b>8</b>	<b>ESTUDIO 2: MACH</b>	<b>431</b>
8.1	INTRODUCCIÓN A MACH	431
8.1.1	Historia de Mach	431
8.1.2	Objetivos de Mach	433
8.1.3	El micronúcleo de Mach	433
8.1.4	El servidor BSD UNIX de Mach	435
8.2	ADMINISTRACIÓN DE PROCESOS EN MACH	436
8.2.1	Procesos	436

- 8.2.2 Hilos 439
- 8.2.3 Planificación 442
- 8.3 ADMINISTRACIÓN DE MEMORIA EN MACH 445
  - 8.3.1 Memoria virtual 446
  - 8.3.2 Memoria compartida 449
  - 8.3.3 Administradores externos de la memoria 452
  - 8.3.4 Memoria compartida distribuida en Mach 456
- 8.4 COMUNICACIÓN EN MACH 457
  - 8.4.1 Puertos 457
  - 8.4.2 Envío y recepción de mensajes 464
  - 8.4.3 El servidor de mensajes de la red 469
- 8.5 EMULACIÓN DE UNIX EN MACH 471
- 8.6 RESUMEN 472

## 9 ESTUDIO 3: CHORUS

- 9.1 INTRODUCCIÓN A CHORUS 475
  - 9.1.1 Historia de Chorus 475
  - 9.1.2 Objetivos de Chorus 477
  - 9.1.3 Estructura del sistema 477
  - 9.1.4 Abstracciones del núcleo 479
  - 9.1.5 Estructura del núcleo 481
  - 9.1.6 El subsistema UNIX 483
  - 9.1.7 El subsistema orientado a objetos 483
- 9.2 ADMINISTRACIÓN DE PROCESOS EN CHORUS 483
  - 9.2.1 Procesos 484
  - 9.2.2 Hilos 485
  - 9.2.3 Planificación 486
  - 9.2.4 Señalamientos, excepciones e interrupciones 487
  - 9.2.5 Llamadas al núcleo para la administración de procesos 488
- 9.3 ADMINISTRACIÓN DE MEMORIA EN CHORUS 490
  - 9.3.1 Regiones y segmentos 490
  - 9.3.2 Asociadores 491
  - 9.3.3 Memoria compartida distribuida 492
  - 9.3.4 Llamadas al núcleo para la administración de memoria 493
- 9.4 COMUNICACIÓN EN CHORUS 495
  - 9.4.1 Mensajes 495
  - 9.4.2 Puertos 495
  - 9.4.3 Operaciones de comunicación 496
  - 9.4.4 Llamadas al núcleo para la comunicación 498

- 9.5 EMULACIÓN DE UNIX EN CHORUS 499
  - 9.5.1 Estructura de un proceso en UNIX 500
  - 9.5.2 Extensiones a UNIX 500
  - 9.5.3 Implantación de UNIX en Chorus 501
- 9.6 COOL: UN SUBSISTEMA ORIENTADO A OBJETOS 507
  - 9.6.1 La arquitectura COOL 507
  - 9.6.2 La capa base de COOL 508
  - 9.6.3 El sistema genérico de tiempo de ejecución de COOL 509
  - 9.6.4 El sistema de tiempo de ejecución de lenguaje 510
  - 9.6.5 Implantación de COOL 510
- 9.7 COMPARACIÓN DE AMOEBA, MACH Y CHORUS 510
  - 9.7.1 Filosofía 511
  - 9.7.2 Objetos 512
  - 9.7.3 Procesos 513
  - 9.7.4 Modelo de memoria 514
  - 9.7.5 Comunicación 515
  - 9.7.6 Servidores 516
- 9.8 RESUMEN 517

## 10 ESTUDIO 4: DCE

520

- 10.1 INTRODUCCIÓN A DCE 520
  - 10.1.1 Historia de DCE 520
  - 10.1.2 Objetivos de DCE 521
  - 10.1.3 Componentes de DCE 522
  - 10.1.4 Celdas 525
- 10.2 HILOS 527
  - 10.2.1 Introducción a los hilos de DCE 527
  - 10.2.2 Planificación 529
  - 10.2.3 Sincronización 530
  - 10.2.4 Llamadas a hilos 531
- 10.3 LLAMADA A PROCEDIMIENTOS REMOTOS 535
  - 10.3.1 Objetivos de la RPC de DCE 535
  - 10.3.2 Escritura a un cliente y un servidor 536
  - 10.3.3 Conexión de un cliente con un servidor 538
  - 10.3.4 Realización de una RPC 539
- 10.4 SERVICIO DE TIEMPO 540
  - 10.4.1 Modelo de tiempo DTS 541
  - 10.4.2 Implantación de DTS 543
- 10.5 SERVICIO DE DIRECTORIOS 545

10.5.1	Nombres	546
10.5.2	El servicio de directorio de celda	547
10.5.3	El servicio de directorio global	549
10.6	SERVICIO DE SEGURIDAD	554
10.6.1	Modelo de seguridad	555
10.6.2	Componentes de seguridad	557
10.6.3	Boletos y autenticadores	558
10.6.4	RPC autenticada	559
10.6.5	ACL	562
10.7	SISTEMA DISTRIBUIDO DE ARCHIVOS	564
10.7.1	Interfaz DFS	565
10.7.2	Componentes DFS en el núcleo servidor	566
10.7.3	Componentes DFS en el núcleo cliente	569
10.7.4	Componentes DFS en el espacio del usuario	571
10.8	RESUMEN	573

## **11 LISTA DE LECTURAS Y BIBLIOGRAFÍA**

577

11.1	SUGERENCIAS PARA LECTURA POSTERIOR	577
11.2	BIBLIOGRAFÍA EN ORDEN ALFABÉTICO	584

## **ÍNDICE**

605