

1. Paradigmas de la Computación Distribuida

Copyright (c) 2025 Adrián Quiroga Linares Lectura y referencia permitidas; reutilización y plagio prohibidos

1.1 ¿Qué es esto y por qué nos importa?

1.1.1 El Concepto de Paradigma

Antes de hablar de cables y servidores, definamos el término. Un paradigma es simplemente un **patrón o modelo**. En computación, dada la complejidad enorme de conectar máquinas, usamos estos modelos para no tener que reinventar la rueda cada vez que escribimos software.

1.1.2 Aplicación Distribuida vs Convencional

Imagina un programa en tu portátil (Word, Calculadora). Eso es convencional. Una **aplicación distribuida** tiene dos características que la hacen especial y difícil:

1. **Comunicación:** Necesita que dos o más procesos independientes (en máquinas distintas o la misma) intercambien datos.
2. **Sincronización:** No basta con enviar datos; hay que coordinar *cuándo* se envían y reciben.

Concepto Clave: Abstracción La abstracción es el arte de **esconder los detalles sucios**.

- *Ejemplo:* Cuando conduces, usas el volante (abstracción alta). No inyectas gasolina manualmente en los cilindros (abstracción baja). En sistemas distribuidos, buscamos herramientas que oculten la complejidad de la red al programador.

1.2 Los Cimientos (Nivel Bajo)

Aquí es donde todo empieza. Es el nivel de abstracción más bajo.

1.2.1 El Paso de Mensajes (Message Passing)

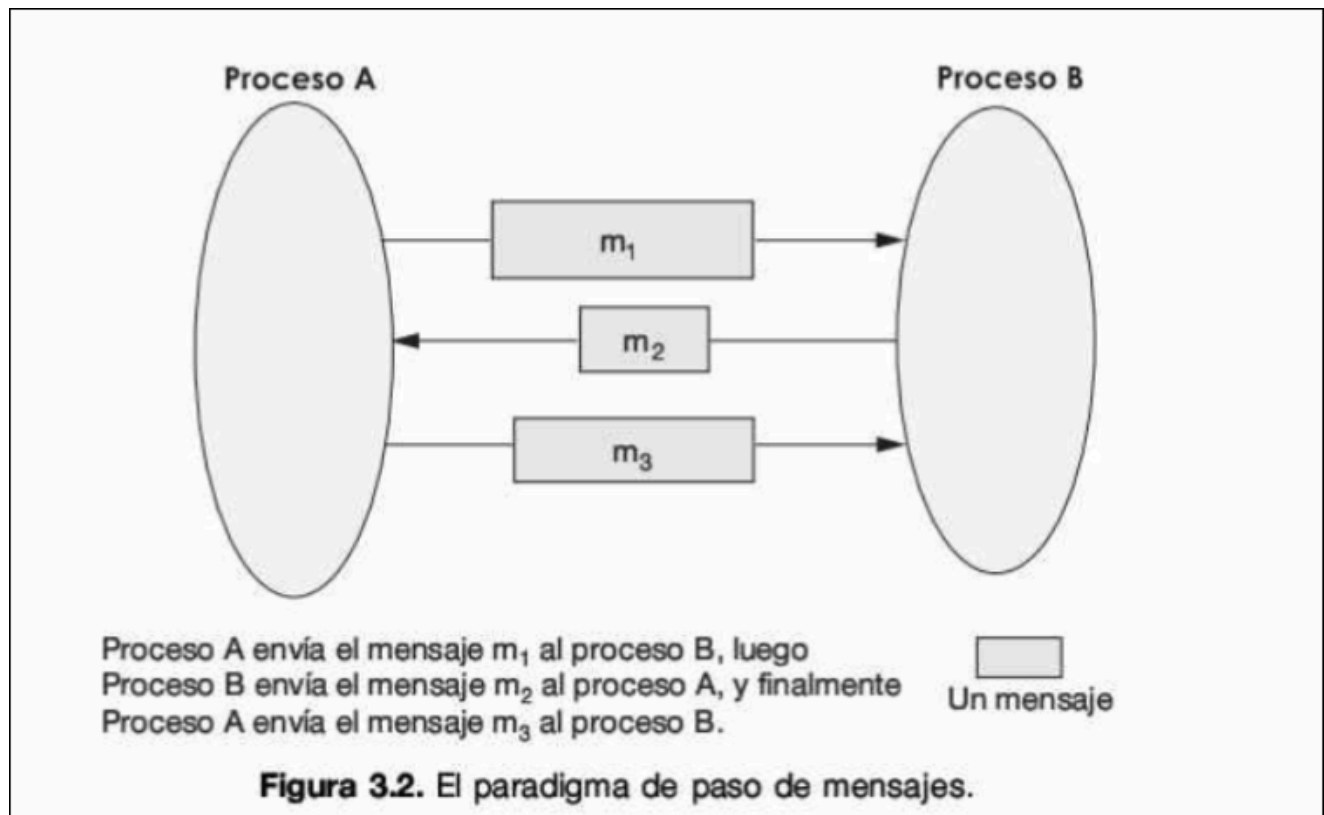
Concepto Principal: es el paradigma fundamental. Cualquier cosa que ocurra en Internet, en el fondo, es un mensaje llendo de A a B. Es como pasarse notitas en clase. Tú escribes un papel (petición), se lo das a un compañero y esperas que te devuelva otro papel (respuesta).

Detalle Técnico:

- Se basa en operaciones de Entrada/Salida (I/O) similares a escribir en un archivo.

- **Primitivas básicas:** `send` (enviar) y `receive` (recibir)
- Si la conexión es continua (como una llamada telefónica), usamos `connect` y `disconnect`
- **La herramienta real:** esto se implementa habitualmente con **Sockets** a nivel de Sistema operativo.

Cuando tu navegador pide una web, por debajo está abriendo un socket y pasando mensajes.



Info

Una **primitiva** es la operación más básica y elemental que te ofrece un sistema o lenguaje, es un ladrillo indivisible con el que construyes cosas más grandes.

Un **socket** es un **enchufe** de software. Es el punto final (endpoint) de una comunicación bidireccional entre dos programas a través de la red. Imagina que tu ordenador es un bloque de pisos. EL **Socket** es la puerta de un apartamento específico (identificado por una IP y un Puerto). Si quieres enviar una carta a otro edificio, necesitas saber la dirección del edificio (IP) y el número de puerta (Puerto) del destinatario.

Usamos `connect/disconnect` cuando necesito fiabilidad absoluta y un canal estable. Antes de enviar datos, debes descolgar el teléfono (`connect`) y al terminal colgar (`disconnect`). Garantiza que los datos lleguen y en orden (**Servicio orientado a conexión**). No se usa (**servicio no orientado a conexión**) cuando la velocidad es

más importante que la fiabilidad, o cuando envías mensajes sueltos. Solo se hace **send** y **receive** sin llamar antes. **Connect** tarda tiempo.

1.3 Arquitecturas Básicas

Una vez sabemos pasar mensajes, ¿cómo organizamos a los participantes?

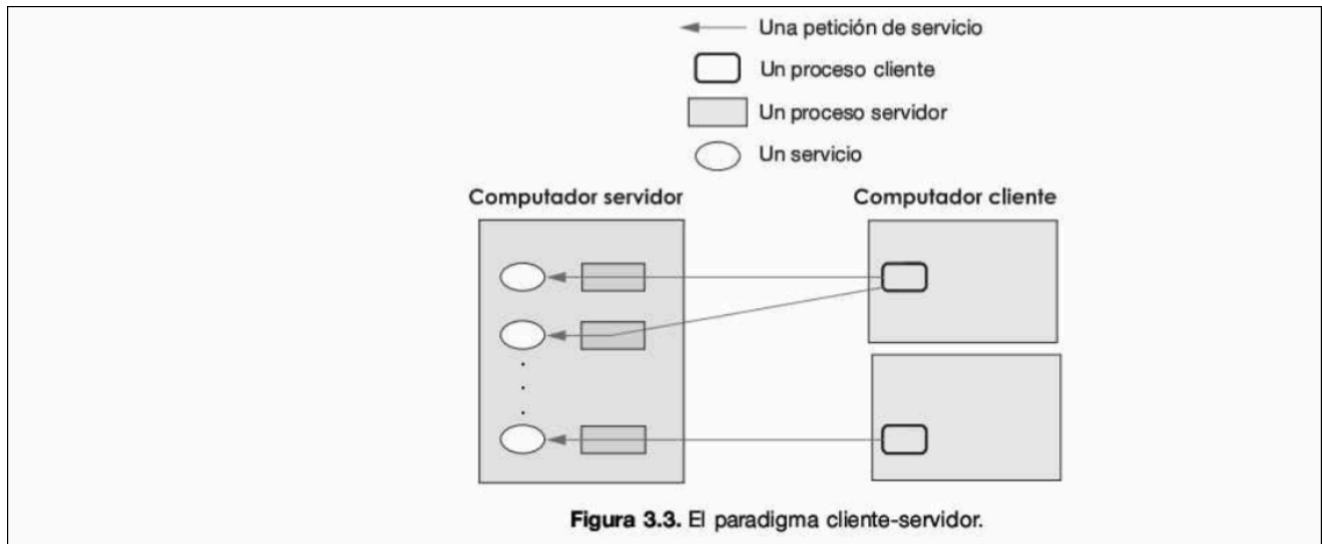
1.3.1 Cliente-Servidor (Client-Server)

Concepto Principal: es el modelo más conocido y **asimétrico**. Hay una clara división de jerarquía. Piensa en un restaurante:

- **Servidor (Camarero):** Espera pasivamente a que alguien le llame
- **Cliente (Comensal):** Inicia la conversación pidiendo algo (request) y espera la comida (response)

Detalle Técnico:

- Simplifica mucho la sincronización: el servidor es un bucle infinito esperando peticiones, el cliente es quien dispara la acción. Suele identificarse por el protocolo que usa (HTTP,FTP)
- Se dice que es asimétrico porque uno solo pide y el otro solo sirve/espera



1.3.2 Peer-to-Peer (P2P)

Concepto Principal: Arquitectura **simétrica** y descentralizada. Todos los nodos son iguales ("peers"). Es una mesa redonda de trabajo o una comuna. No hay jefes. Si tú tienes un bolígrafo y yo lo necesito, me lo das. Si yo tengo una goma y tú la necesitas, te la doy. A veces actúo como servidor (te doy cosas) y a veces como cliente (te pido cosas).

Detalle Técnico:

- Ideal para compartir recursos (ficheros, ciclos de CPU) de forma escalable
- **Híbridos:** a veces se usa un servidor central solo como directorio (para saber quién tiene qué), como hacía el Napster original, pero la transferencia es directa entre usuarios.

Se usa en BitTorrent, Videoconferencias, Blockchain, aplicaciones de chat, etc.

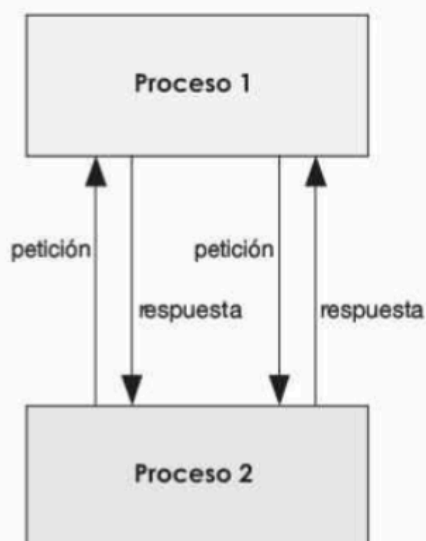


Figura 3.4. El Paradigma *peer-to-peer*.

Info

Descentralizado significa que **no existe un punto único de fallo ni una autoridad suprema**. En un sistema centralizado, si tiras el servidor central, nadie puede operar.

En P2P la red es una malla, si desconectas a 100 usuarios, los otros 1000 siguen comunicándose entre ellos.

1.4 Subiendo de Nivel: Ocultando la Red (Middleware)

Aquí intentamos que el programador se olvide de que existen cables de red. Queremos programar como si todo estuviera en mi ordenador".

Info

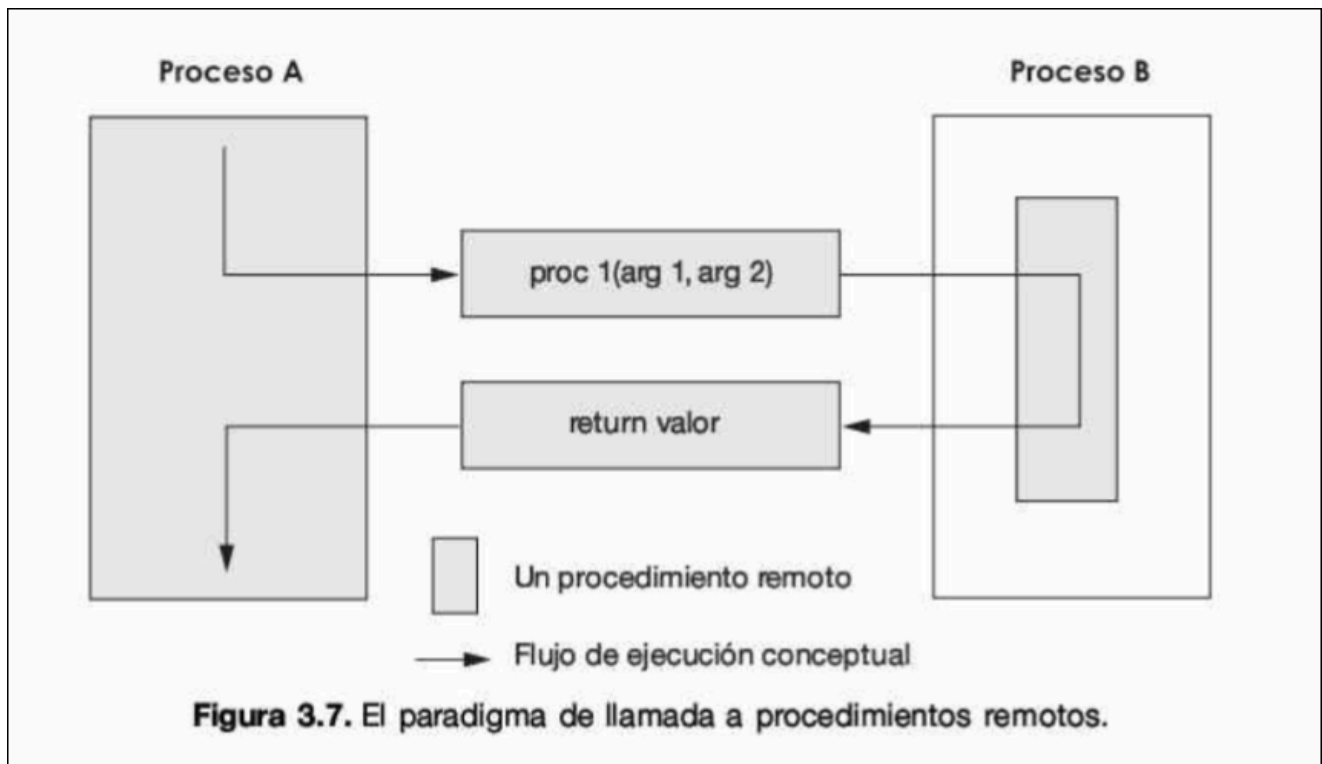
El middleware es una capa de software que se sitúa entre el sistema operativo y las aplicaciones distribuidas. Su función es **abstraer la heterogeneidad**.

1.4.1 RPC (Remote Procedure Call)

Concepto Principal: Abstracción que permite llamar a una función que está en otro ordenador como si fuera una función local. Imagina que en tu código escribes `calcularSuma(5, 10)`. Tú no sabes si esa suma la hace tu CPU o superordenador en Japón. RPC se encarga de enviar el 5 y el 10 a Japón esperar, y devolverte 15.

Detalle Técnico:

- Usa unos componentes llamados **Stubs**. El stub es una pieza de código falsa en tu ordenador que finge ser la función remota, su único trabajo es empaquetar los datos y enviarlos (ya lo veremos más adelante)



1.4.2 RMI (Remote Method Invocation) y Objetos Distribuidos

Concepto Principal: Es la evolución de RPC para la **Programación Orientada a Objetos**

Diferencia con RCP: En RPC llamas a funciones (acciones). En RMI, invocas a métodos de un **Objeto** que vive en otra máquina. Puedes pasar objetos enteros como argumentos.

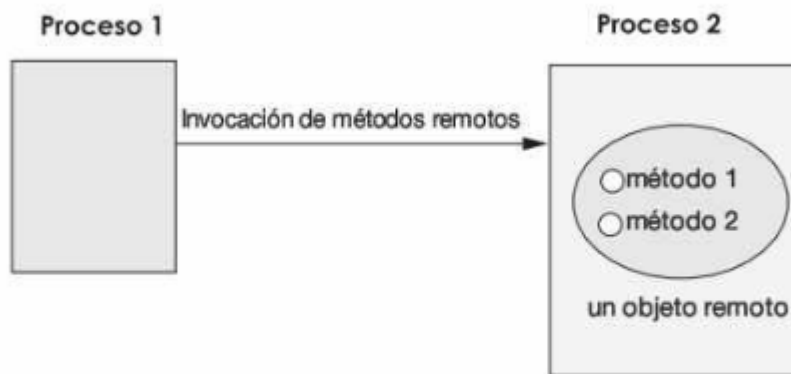


Figura 3.8. El paradigma de invocación de métodos remotos.

1.4.3 ORB (Object Request Broker)

Concepto Principal: El traductor universal o intermediario de objetos

¿Qué pasa si quiero que un objeto escrito en C++ en Windows hable con un objeto escrito en Java en Linux? RMI (de Java) no basta. La solución es **ORB**, que es un middleware (intermediario) que redirige peticiones entre objetos heterogéneas (distintos lenguajes/plataformas). El estándar famoso el **CORBA**.

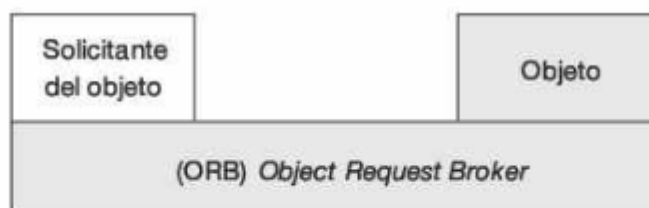


Figura 3.9. El paradigma basado en *Object Request Broker*.

1.5 Desacoplamiento: Sistemas de Mensajes (MOM)

A veces no queremos respuesta inmediata. A veces queremos "dejar un recado".

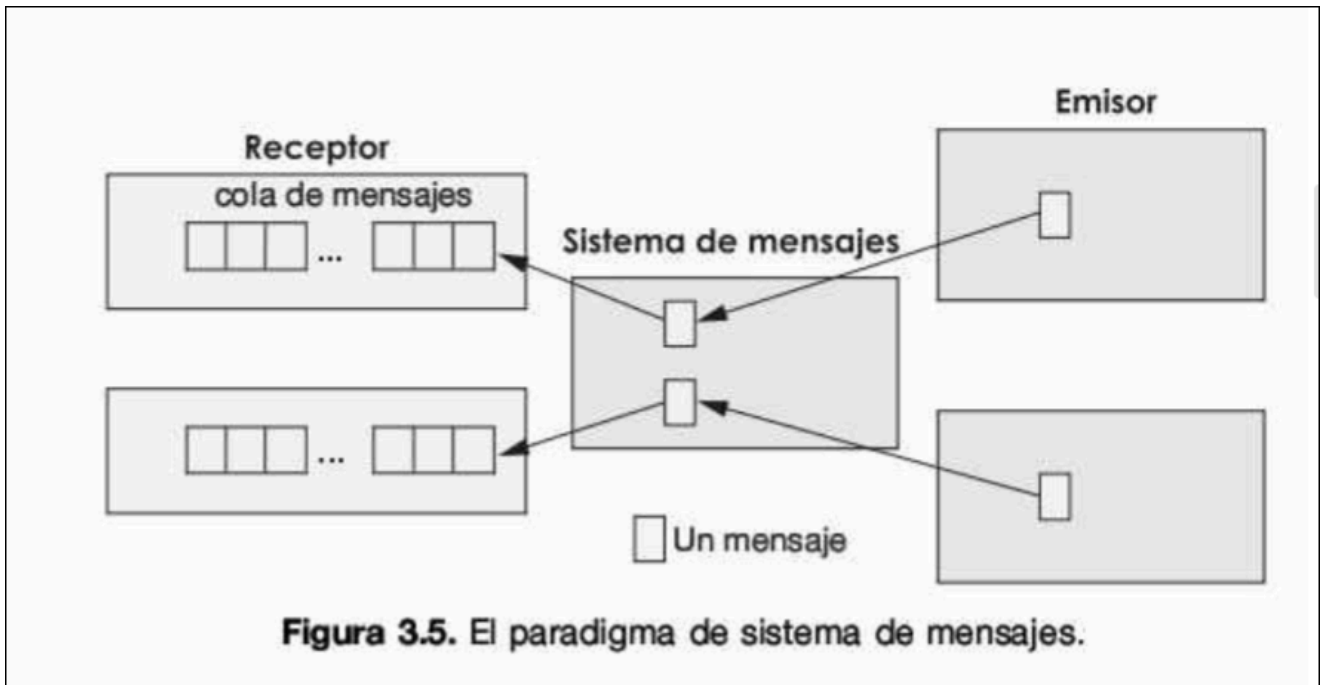
Concepto Principal: Message-Oriented Middleware (MOM). Un intermediario gestiona colas de mensajes, permitiendo comunicación **asíncrona**.

Info

Desacoplamiento es eliminar las dependencias rígidas entre dos sistemas. Podemos diferenciar 2 tipos:

- **Temporal:** el emisor y el receptor **no necesitan estar conectados a la vez**. Yo envío el mensaje a las 10:00, me desconecto, y tú lo recibes a las 14:00.

- **Espacial:** el emisor no necesita saber la dirección IP o identidad exacta del receptor, solo envía el mensaje a un buzón.



1.5.1 Modelo Punto a Punto

Funcionamiento: Un emisor deja un mensaje en una cola. El receptor lo recoge cuando puede. Pensadlo como el correo electrónico.

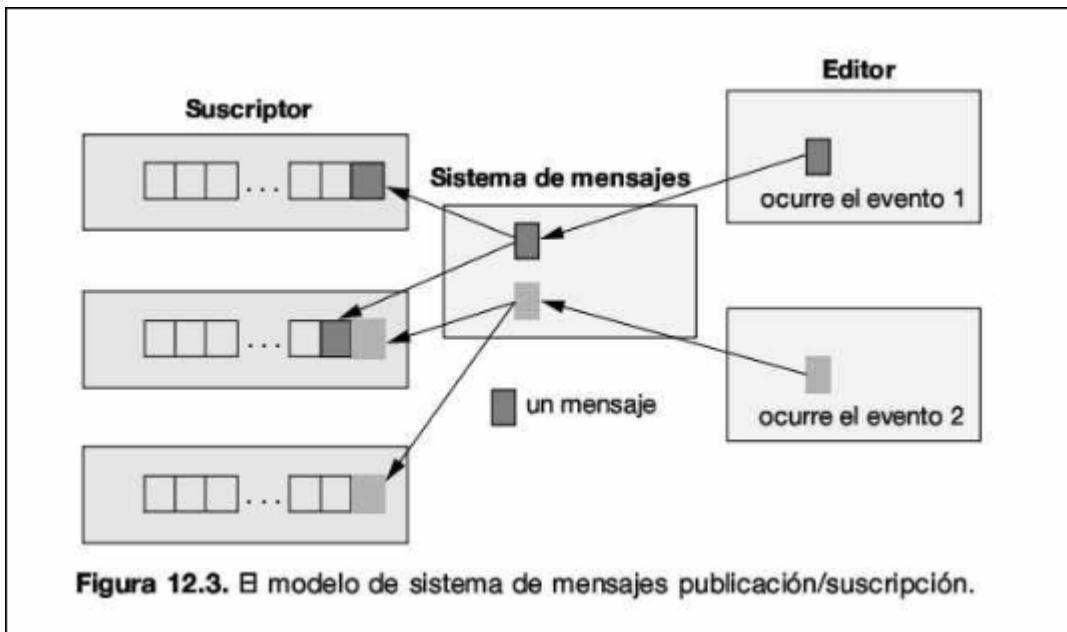
Ventaja: Desacoplamiento total. Si el **receptor** está apagado, el mensaje espera en la cola. No se pierde.

1.5.2 Modelo Publica/Suscribe (Publish/Subscribe)

Funcionamiento: Basado en **Eventos**.

- Un proceso (Publisher) dice: "¡Ha marcado Rodrygo Ganges!" (Evento)
- El sistema distribuye este mensaje a todos los que se hayan "suscrito" al tema "Fútbol"

Por ejemplo, notificaciones de Youtube, Feeds de Twitter, Grupos de Whatsapp.

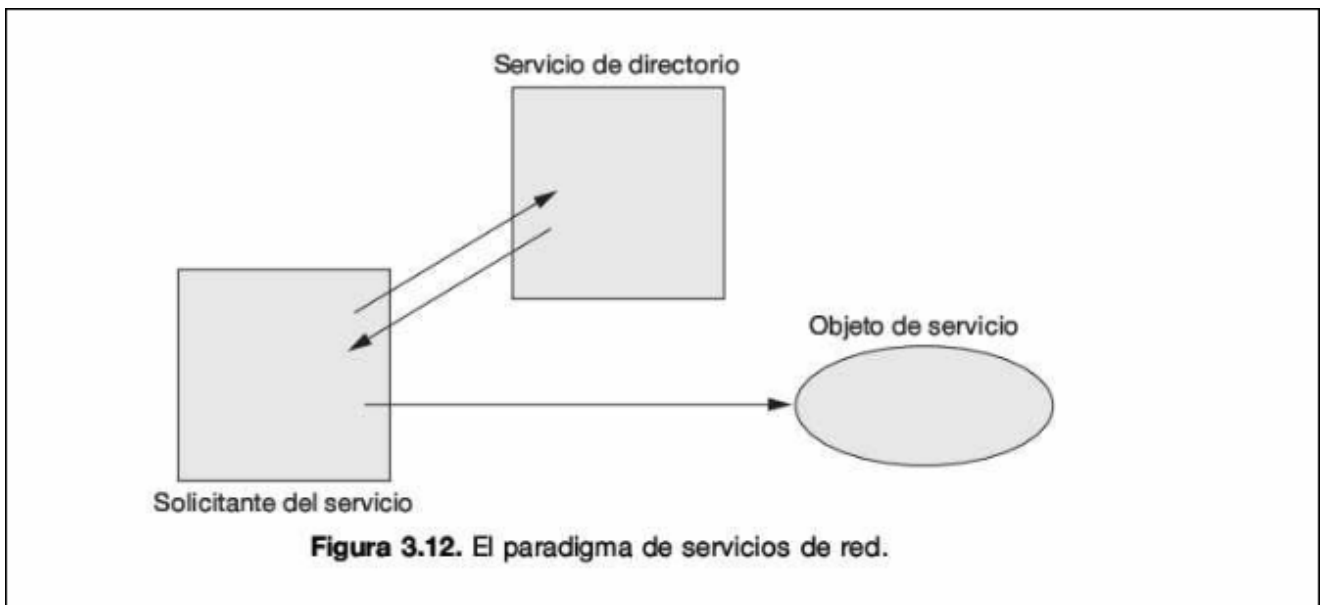


1.6 Paradigmas Avanzados (Conceptos Futuristas)

Estos modelos son más específicos, pero interesantes.

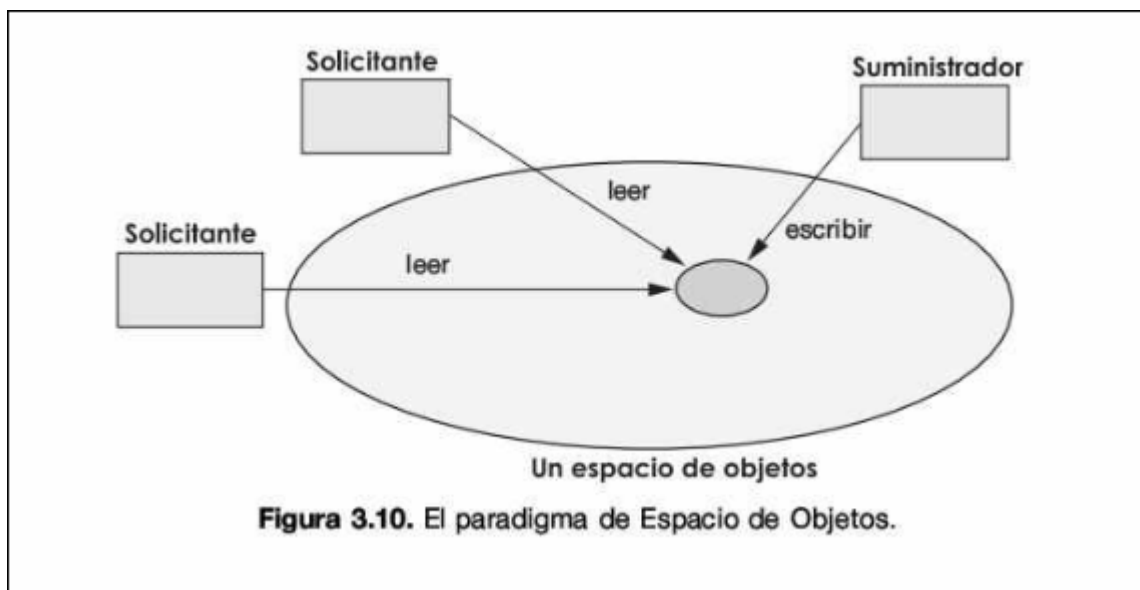
1.6.1 Servicios de Red

Los servicios se "registran" en un directorio. El cliente busca en el directorio "necesito imprimir", y el directorio le da la dirección e la impresora disponible. Es autoconfigurable.



1.6.2 Espacio de Objetos

Imagina una **pizarra compartida** en la nube. Los productores escriben datos en la pizarra. Los consumidores leen o toman datos de la pizarra. Es la abstracción más alta: no sabes quien consume tu dato, solo lo dejas ahí. Ejemplo: JavaSpaces



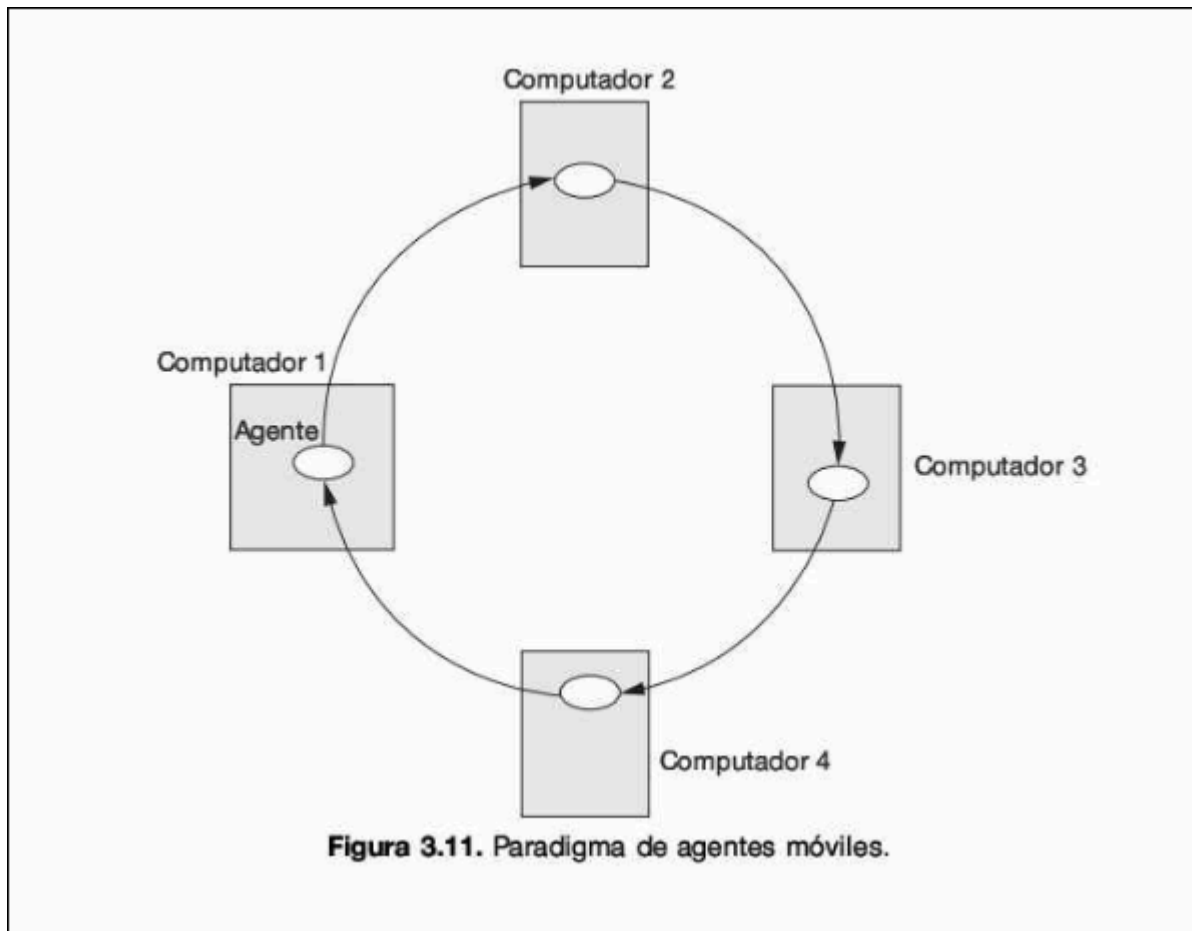
1.6.3 Agentes Móviles

En vez de mover los datos hacia el programa, **movemos el programa hacia los datos**. Un "agente" viaja de servidor en servidor realizando tareas.

Imagina que quieres buscar una foto específica en una base de datos de la NASA de 50 Petabytes.

- **Método tradicional:** Te descargas los 50 Petabytes (tardas años) y tu programa busca la foto.
- **Método Agente:** Envías tu pequeño programa (Agente) de 5KB al servidor de la NASA. El programa se ejecuta allí (localmente), busca la foto rapidísimo (porque está al lado del disco duro) y solo te envía de vuelta la foto encontrada. Ahorras un ancho de banda inmenso.

El Agente: Es un programa autónomo. Decide cuándo irse al siguiente nodo del itinerario. Lleva consigo su "equipaje" (el estado actual de su ejecución).



1.6.4 Paradigma de aplicaciones colaborativas

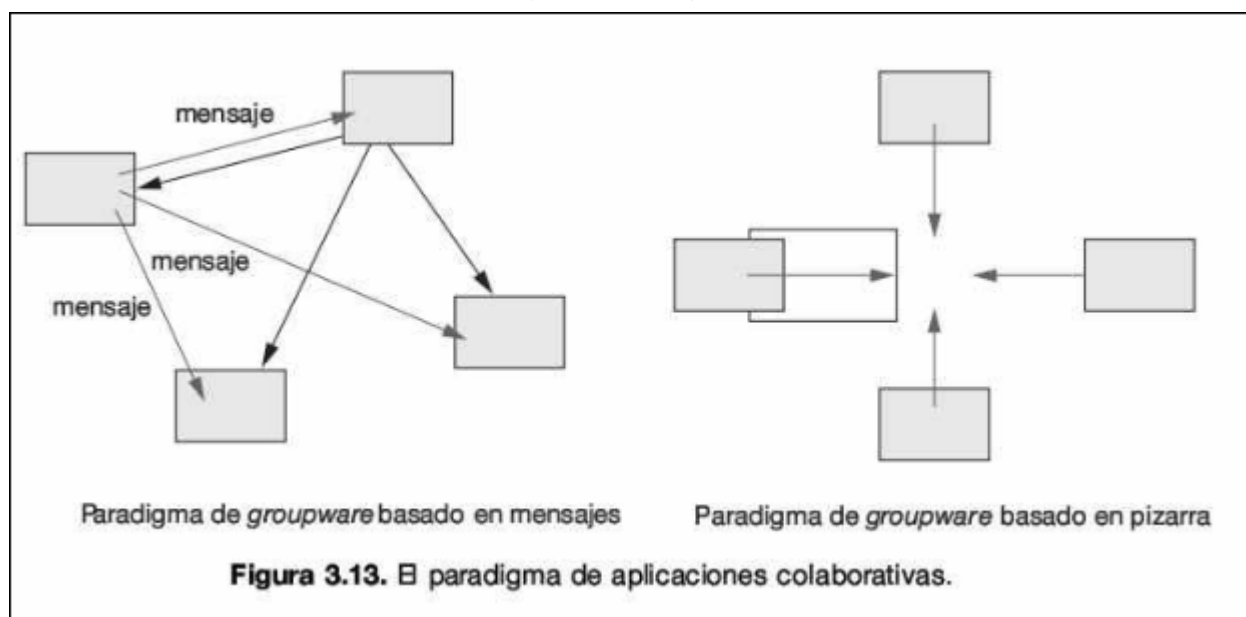
Este paradigma modela cómo trabajamos los humanos en equipo. Los procesos no solo **hablan**, si no que cooperan para manipular un estado compartido en tiempo real.

Componentes clave:

- Multicasting: Enviar un dato a *muchos* a la vez (ej: cuando escribes una letra en Google Docs, se envía "a la vez" a todos los que miran el documento).
- Pizarras Virtuales (Whiteboards): Es la memoria compartida visual. Todos pueden leer y escribir

Si dos personas escriben en la misma línea a la vez, ¿quién gana? Las aplicaciones colaborativas necesitan algoritmos complejos (como Relojes Lógicos, que veremos más adelante) para ordenar estos eventos y que todos vean el mismo documento final.

Ejemplo Real: Google Docs, Trello, Slack, Pizarras de Zoom.



1.7 Resumen y Comparativa

Nivel de Abstracción	Paradigma	¿Qué intercambian?	Ejemplo Real
Bajo (Cimientos)	Paso de Mensajes	Bytes/Datos crudos	Sockets, TCP/IP
Medio	RPC / RMI	Llamadas a Funciones/Métodos	Java RMI, gRPC
Medio	Mensajería (MOM)	Mensajes Asíncronos	RabbitMQ, Kafka
Alto	Objetos Distribuidos / ORB	Objetos complejos	CORBA
Muy Alto	Espacio de Objetos	Datos en pizarra compartida	JavaSpaces