

## 5. Redes P2P

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

### Info

Muy loco que el colega te chante una presentación en inglés joseada de otra universidad

## 5.1 El Problema: Arquitectura Cliente-Servidor vs P2P

Para entender P2P, primero debemos mirar que lo que queremos sustituir: el modelo tradicional **Cliente-Servidor**.

- **Modelo Tradicional:** Un servidor potente y fiable centraliza los datos. Los clientes solo piden información
- **Limitaciones:** El servidor es un cuello de botella, un punto único de fallo y es costoso de escalar. Además, los recursos de los clientes (tu ordenador) están desaprovechados.

La computación P2P es el intercambio directo de recursos (procesamiento, almacenamiento, ancho de banda) entre sistemas.

- **Democracia:** todos los nodos son a la vez **clientes y servidores**
- **Autonomía:** no hay una autoridad central s; los nodos entran y salen de la red dinámicamente.

**Beneficio Clave:** La **Escalabilidad**. Cuantos más usuarios (consumidores) entran, más recursos (donantes) hay disponibles. El sistema crece orgánicamente con la demanda .

## 5.2 Primera Generación: Sistemas P2P No Estructurados

Llamamos "no estructurados" a aquellos sistemas donde no hay una regla matemática estricta sobre dónde se guarda cada archivo. La búsqueda es algo caótica o centralizada.

### 5.2.1 Napster (El origen centralizado)

Aunque revolucionó el intercambio de música, Napster no era P2P puro.

- **Arquitectura:** Híbrida.

- **Búsqueda:** Centralizada. Tú enviabas tu consulta a un servidor central de Napster ("¿Quién tiene la canción X?").
- **Descarga:** P2P. Una vez tienes la IP del usuario que tiene el archivo, te conectas directamente a él para bajarlo.
- **Problema:** El servidor central es un **punto único de fallo**, un cuello de botella y un blanco fácil para demandas legales

## 5.2.2 Gnutella (Descentralización total)

Para evitar los problemas legales de Napster, Gnutella eliminó el servidor central.

- **Funcionamiento:** Búsqueda por **Inundación (Flooding)**.
  - Preguntas a tus vecinos: "¿Tenéis este archivo?".
  - Ellos preguntan a sus vecinos, y así sucesivamente.
- **Control:** Para que el mensaje no viva eternamente, se usa un **TTL** (Time To Live) que elimina la petición tras unos cuantos saltos (hops).
- **Problema:** Genera muchísimo tráfico de red y no garantiza encontrar el archivo (si está más lejos que el TTL, no lo ves)

## 5.2.3 Kazaa/FastTrack (El modelo Híbrido)

Aprendiendo de los dos anteriores, Kazaa introdujo el concepto de **Super-nodos (Super-peers)**.

- **Jerarquía:** No todos los nodos son iguales. Los ordenadores potentes y con buena conexión se convierten automáticamente en "Super-peers".
- **Funcionamiento:** Actúan como pequeños servidores Napster locales. Los nodos normales suben sus listas de archivos al Super-peer y le preguntan a él.

## 5.2.4 El Problema del "Free Riding" (El gorrón)

Un desafío social de estas redes es que requieren altruismo. Estudios en Gnutella mostraron que el **63% de los usuarios nunca compartían nada**, solo descargaban. El 15% de los usuarios aportaba el 94% del contenido.

## 5.2.3 Freenet

En las generaciones anteriores (Napster, Gnutella, Kazaa), la identidad era transparente: los usuarios sabían de quién descargaban y los demás sabían quién enviaba una consulta . Esto generaba problemas de privacidad y legales

**Freenet** surge con un objetivo distinto: **el Anonimato**.

- **Funcionamiento ("Consultas Inteligentes"):**
  - Utiliza un mecanismo de **descubrimiento incremental** .

- Lo más ingenioso es cómo fluyen los datos: La respuesta viaja siguiendo el **camino inverso** de la consulta.
- **La Ventaja del Anonimato:**
  - Es imposible saber si un nodo está **iniciando** una petición o simplemente **reenviando** la de otro.
  - Es imposible saber si un nodo está **consumiendo** (leyendo) el dato o simplemente **reenviándolo**.
  - Esto crea una "negación plausible" para los usuarios de la red.

## 5.3 Segunda Generación: Sistemas Estructurados (DHTs)

Las redes anteriores (Napster, Gnutella) no garantizan que encuentres un archivo aunque exista, o son ineficientes. La academia (universidades/investigación) propuso una solución matemática: las **Tablas Hash Distribuidas (DHT)**.

### 5.3.1 ¿Qué es una DHT?

Es una estructura de datos gigante repartida entre todos los ordenadores del mundo P2P.

- Funciona con pares (**Clave, Valor**).
- **Objetivo:** Garantizar que podemos encontrar el nodo responsable de un dato en un número pequeño de pasos (normalmente  $O(\log N)$ ).
- **Interfaz Genérica:** Solo necesitas dos operaciones:
  - `put(key, value)`: Guarda algo.
  - `value = get(key)`: Recupera algo.

A continuación, los tres algoritmos principales de DHT

### 5.3.2 Chord (EL anillo)

Imagina una mesa redonda gigante o un reloj.

#### El Círculo Identificador (The Identifier Circle):

- **La Mesa:** Imagina que todos los ordenadores (Nodos) y todos los archivos (Claves) tienen un número de identificación (ID) único (por ejemplo, del 0 al 100).
- **Organización:** Los nodos se sientan alrededor de la mesa ordenados por su número (el nodo 5, luego el 20, luego el 38...).
- **La Regla de Oro (Sucesor):** ¿Quién guarda la llave del archivo número 54? No se la damos al nodo 54 (porque igual no existe), sino al **primer nodo que encontramos igual o mayor que 54** siguiendo las agujas del reloj.
  - *Ejemplo del PDF:* La clave **K54** se guarda en el nodo **N56** porque es su "sucesor" inmediato en el círculo .

### La Tabla de Dedos (Finger Table) - El Atajo:

Si el nodo 1 quiere hablar con el nodo 50, podría pasar el mensaje al vecino de al lado (nodo 2), y este al 3... pero tardaría mucho ( $O(N)$ ). Para evitar esto, Chord usa "dedos" mágicos.

- **Los Saltos:** Cada nodo tiene una pequeña agenda (Finger Table) con unos pocos contactos.
- **Matemática de los saltos:** En lugar de conocer a sus vecinos inmediatos, conoce a nodos a distancias de potencia de 2 ( $2^0, 2^1, 2^2, 2^4 \dots$ ).
  - El dedo 1 apunta a alguien a distancia 1.
  - El dedo 2 apunta a alguien a distancia 2.
  - El dedo 3 apunta a alguien a distancia 4, luego 8, 16, 32....
- **El Resultado:** Con muy poca información (tabla pequeña de tamaño  $O(\log N)$ ) puedes cruzar el círculo entero dando saltos gigantes. Cada salto te acerca "a la mitad" del camino hacia tu destino.

### El Problema de la Localidad (Network Locality)

Aquí viene la crítica de Chord. El anillo es **lógico**, no físico.

- Imagina que en el anillo, el Nodo 20 es vecino del Nodo 40.
- Pero en la vida real, el Nodo 20 está en Oregón (EE.UU.) y el Nodo 40 está en Utah (EE.UU.), pero para llegar de uno a otro, el algoritmo te hace pasar por el Nodo 80 que está en California o el 41 que está en Nueva York .
- **Conclusión:** Tus vecinos en el anillo pueden estar en la otra punta del mundo, haciendo que la conexión sea lenta aunque el algoritmo sea rápido.

### 5.3.3 Pastry (El código postal)

Pastry intenta arreglar el problema de que "mi vecino lógico está en otro continente".

- **La Idea:** Funciona como los números de teléfono o códigos postales.
- **El Enrutamiento:** Si yo soy el nodo **65a1fc** y busco al **d46a1c**, intento enviar el mensaje a alguien que se parezca un poco más al destino.
  1. Primero busco a alguien que empiece por **d...**
  2. Luego a alguien que empiece por **d4...**
  3. Luego **d46....**
- **La Mejora (Localidad):** Si necesito pasar el mensaje a alguien que empiece por **d...** y conozco a tres nodos que empiezan por **d**, Pastry elige **el que esté físicamente más cerca de mí** (menor latencia).
- **Diferencia con Chord:** Mientras Chord te obliga a saltar a un punto fijo del anillo (aunque esté en China), Pastry te deja elegir entre varios candidatos para dar el siguiente paso, permitiendo optimizar la velocidad real.

## 5.3.4 CAN (El mapa de coordenadas)

Olvídate de anillos y códigos. Piensa en un mapa gigante (un plano cartesiano de coordenadas X e Y).

- **El Terreno:** Todo el espacio posible (el mapa) se divide en rectángulos (zonas).
- **Los Dueños:** Cada nodo es dueño de un rectángulo específico.
- **Guardar datos:** Si quieres guardar un archivo, haces una fórmula matemática (hash) que te da unas coordenadas, por ejemplo  $(x=0.8, y=0.3)$ . El archivo se guarda en el ordenador que sea "dueño" del rectángulo donde cae ese punto.
- **Enrutamiento:** Si yo estoy en la zona  $(0,0)$  y quiero enviar algo a  $(1,1)$ , simplemente le paso el mensaje a mi vecino de la derecha o de arriba, acercándome geométricamente al destino.