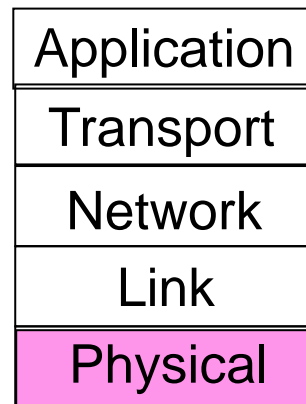


Capítulo 7

Redes Celulares



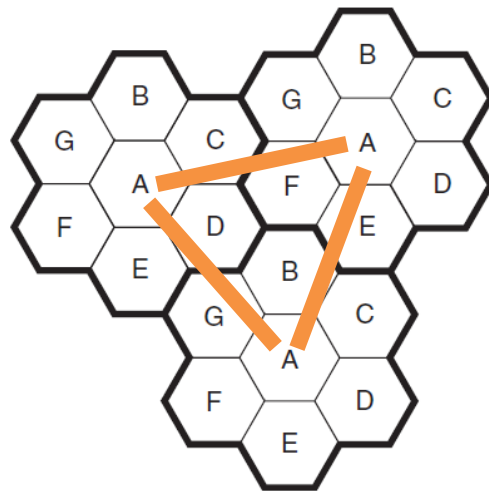
Redes Celulares

- **Comunicación de datos y voz de área amplia**
 - Teléfonos móviles = celulares = smartphones
- **Generaciones**
 - **1G** (voz analógica)
 - **2G** (voz digital)
 - **3G** (voz y datos digitales)
 - **4G** (voz y más datos digitales)
 - **5G** (voz y muchos más datos digitales)
- **Celdas** → división de la región geográfica



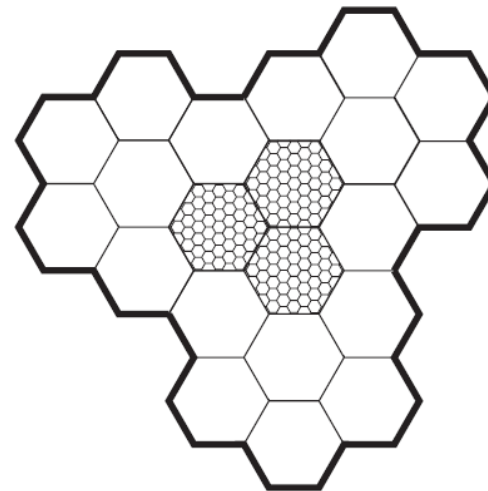
Celdas

- **División geográfica** 1G → 20km 4G → <1km
- **Frecuencias != en celdas adyacentes**
 - Reducir interferencia destructivas
- Modeladas como **hexágonos** (7 celdas)



Frecuencias
A, B, C...

Factor de re-
uso de
frecuencia:
1/7



Más celdas
permiten más
usuarios
(microceldas)



Terminales y MSC

- Una **Terminal** asociada a una única **celda**
 - *Handoff*: entrega de la conexión a otra celda en caso de mejor situación de canal (~300 ms)
- **Celdas** se conectan a un **MSC** (**Centro de Conmutación Móvil**) → múltiples niveles



1G

- Advanced Mobile Phone System (**AMPS**) 1982
- Frequency Division Multiplex (**FDM**)
 - 832 canales **full-dúplex**
 - 824 a 849 MHz **uplink** (terminal móvil a base)
 - 869 a 894 MHz **downlink** (base a terminal móvil)
 - 30 kHz de ancho de banda
 - Categorías
 - Canales de **control** (base a móvil) → administración (**21**)
 - Canales de **localización** (base a móvil) → avisos llamadas
 - Canales de **acceso** (bidireccional) → llamadas (**~45**)
 - Canales de **datos** (bidireccional) → fax, datos



1G

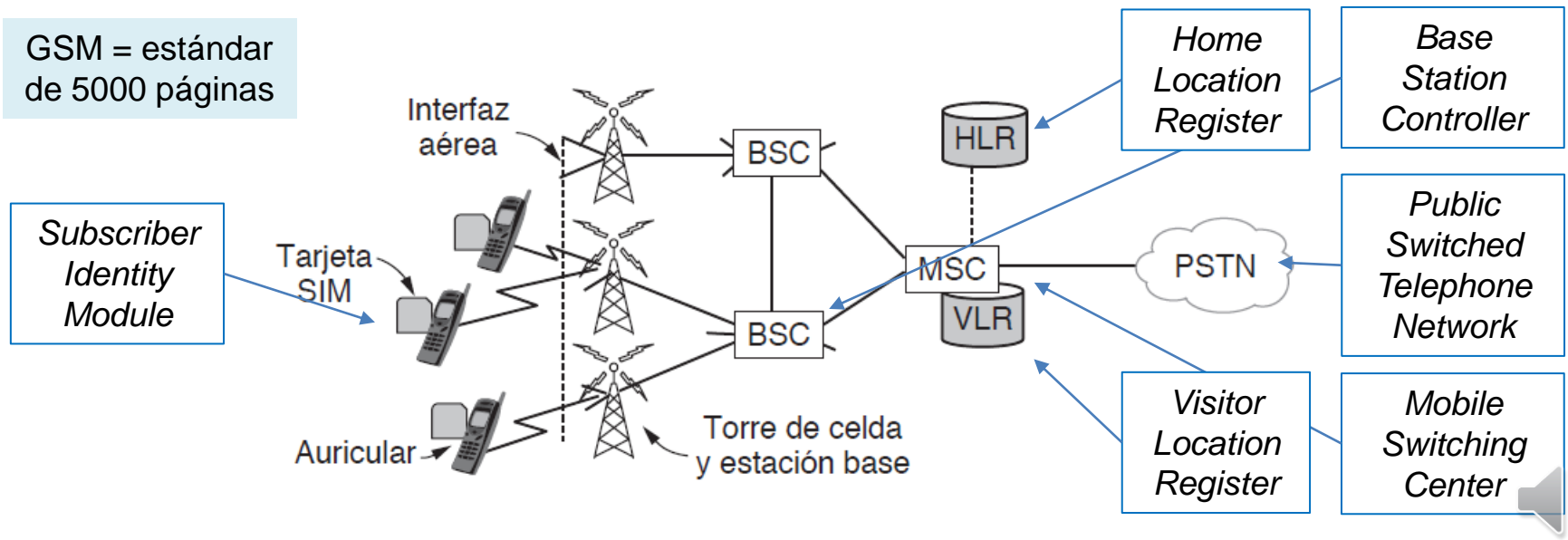
1. **Móvil** encendido → examina 21 canales de control para encontrar la señal más potente
2. El **móvil** difunde su número de serie (32 bits)
3. La **base** avisa al **MSC** y registra el **móvil** (asociado a esta base)
4. El **móvil** repite registración periódicamente
5. El **MSC** gestiona llamadas entrantes/salientes y por medio de los canales de **localización/control** ubica los canales de **acceso/datos** necesarios



2G

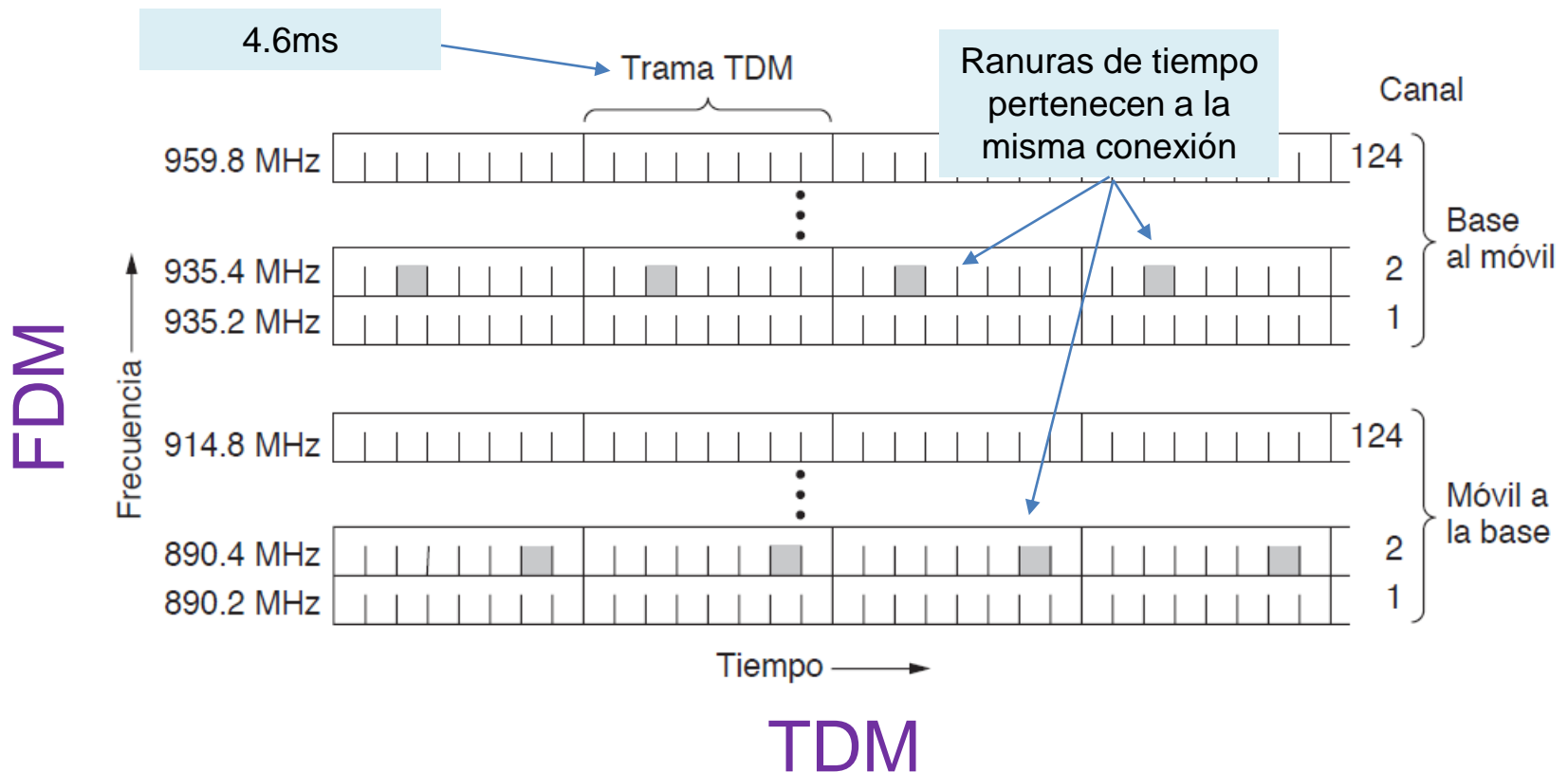
- **CDMA** (Acceso Múltiple por División de Código)
→ EEUU, pero no prospera
- **GSM** (Global System for Mobile Comms.) 1991
→ Europa, prospera en el mundo

GSM = estándar de 5000 páginas



2G

- **GSM: Radio (datos)**
 - **900, 1800 y 1900 MHz** (más espectro, más usuarios)

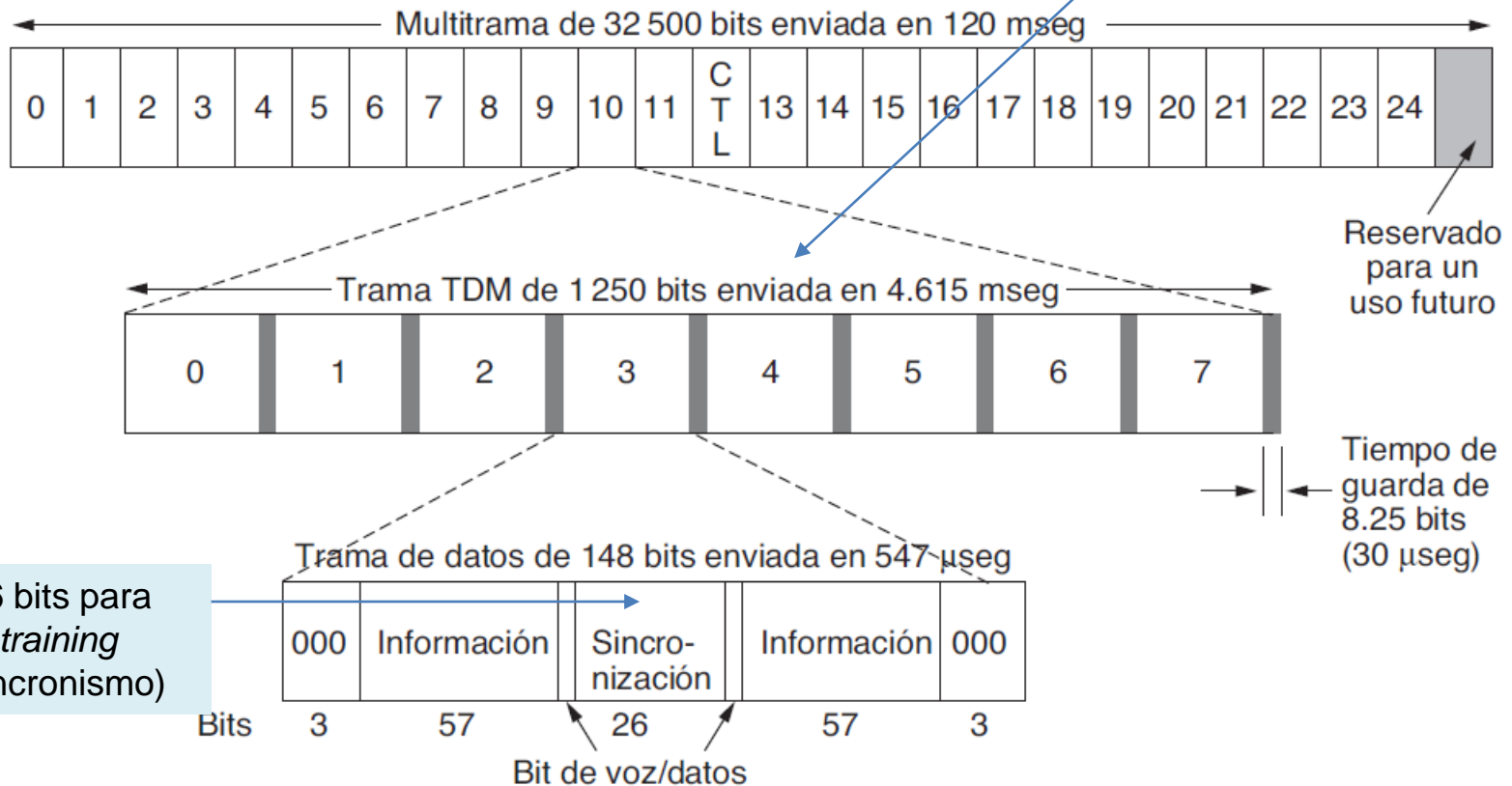


2G

- GSM: Radio (datos)**

Transmisor sólo puede enviar una trama de datos cada 4.615 ms

24.7 kbps por usuario
13 kbps útiles (datos): **voz comprimida**



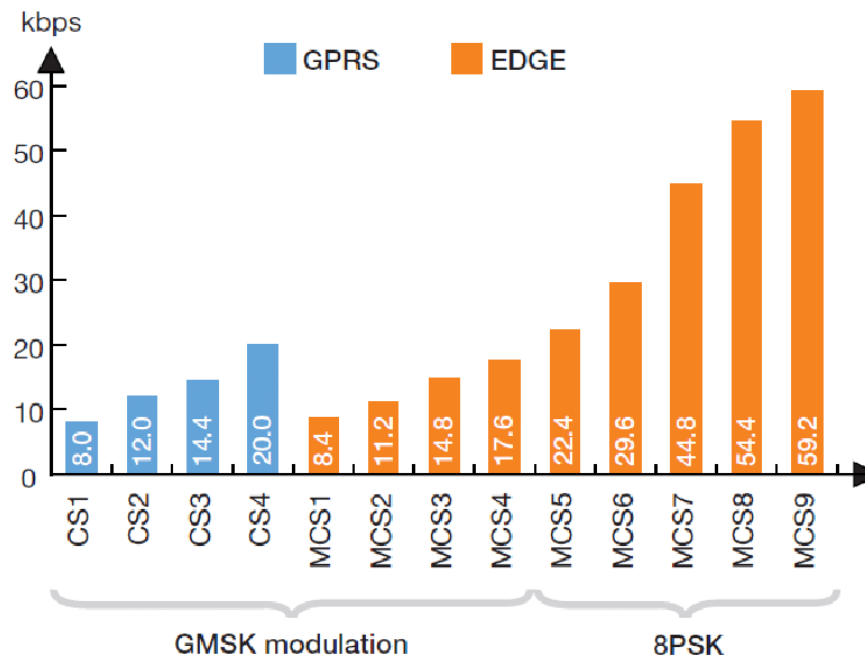
2G

- **GSM**: Radio (control)
 - canal de **control de difusión**
 - canal de **control dedicado**
 - canal de **control común** (tres subcanales: **localización, acceso aleatorio, concesión**)
- En GSM, el móvil **no** envía ni recibe la mayor parte del tiempo (ahorro de energía)



2.5G

- **GSM** → Datos sobre GSM (+modulaciones)
 - **GPRS** (General Packet Radio Service)
 - **EDGE** (Enhanced Data rates for GSM Evolution)



3G

2000

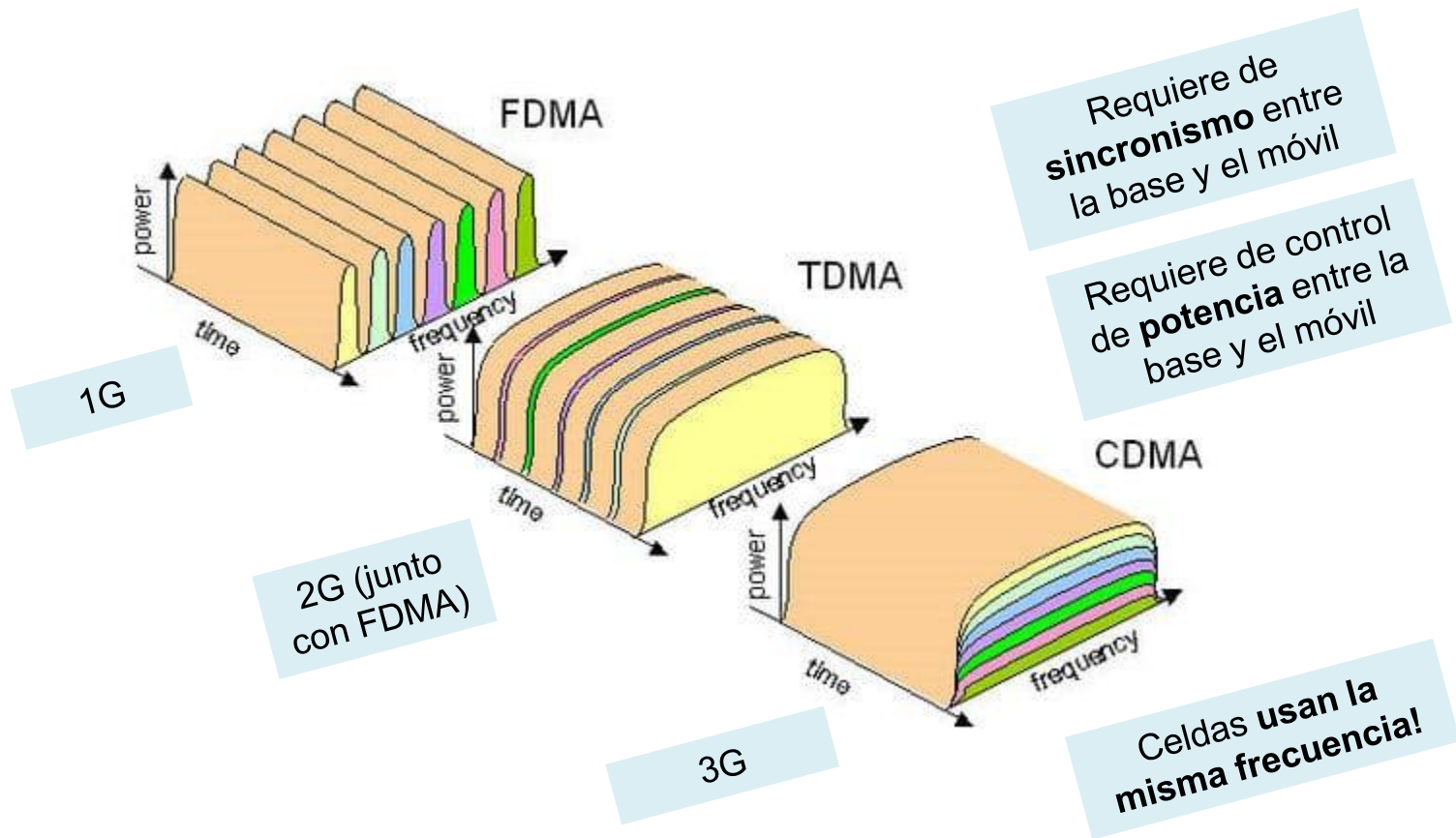
- Acceso a Internet (datos) propuesta por la ITU:
IMT-2000 (2000 = año, frecuencia, kbps)
 - **UMTS** (Universal Mobile Telecom. System)
→ Europa (Ericsson)
 - **CDMA2000** → EEUU (Qualcomm)
- CDMA no es FDM ni TDM...

Ambos basados en CDMA, pero con compatibilidades != en EEUU y Europa



3G

- CDMA: Acceso por división de código

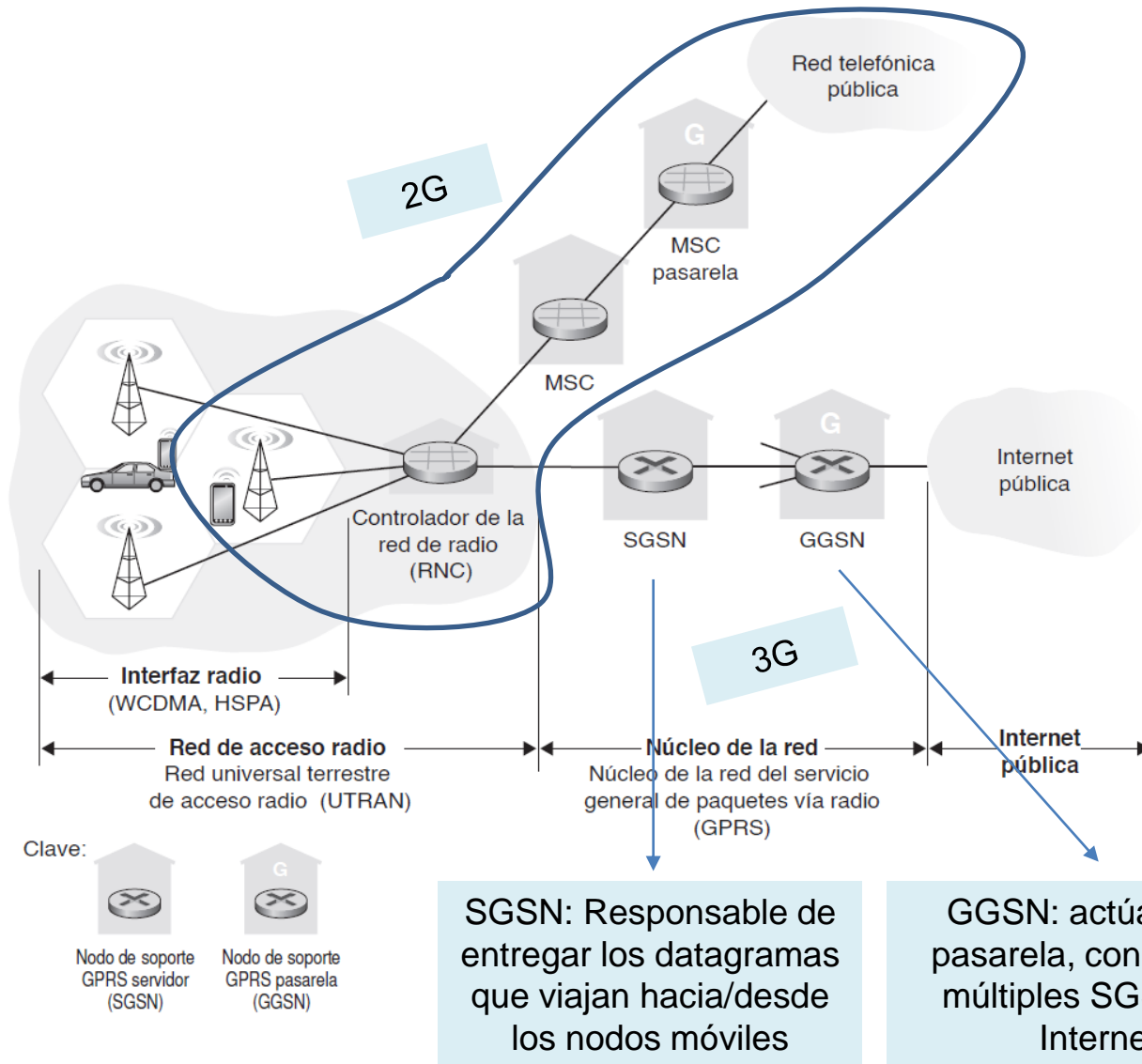


3G

- **CDMA**: Acceso por división de código
- En **TDM** o **FDM** no es posible reasignar ranuras de tiempo o canales de frecuencia con la suficiente rapidez como para poder beneficiarse de pequeños silencios en la llamada.
- En **CDMA** un usuario puede reducir la interferencia para otros usuarios con el simple hecho de no transmitir



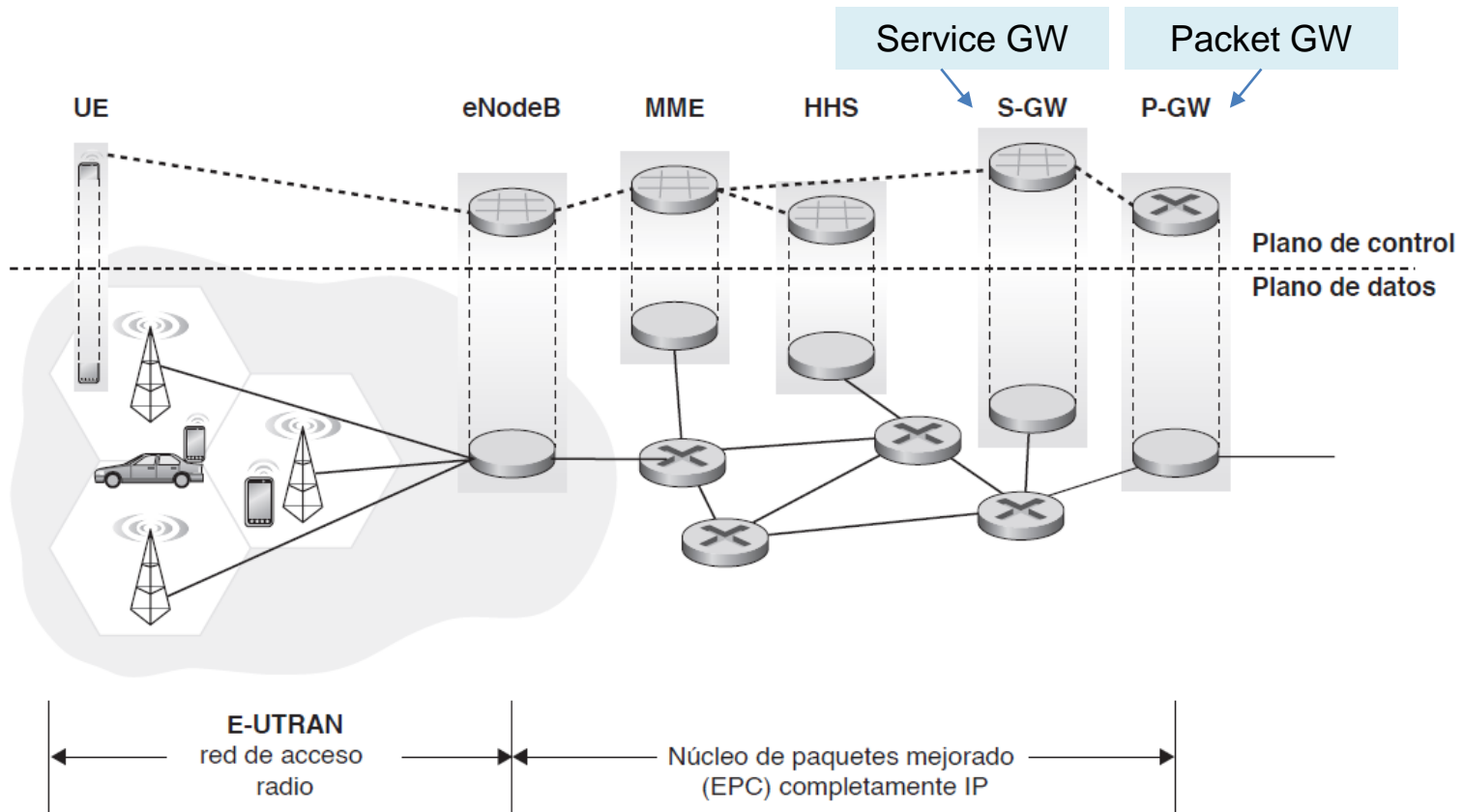
3G



4G

- LTE: Core y voz completamente sobre IP**

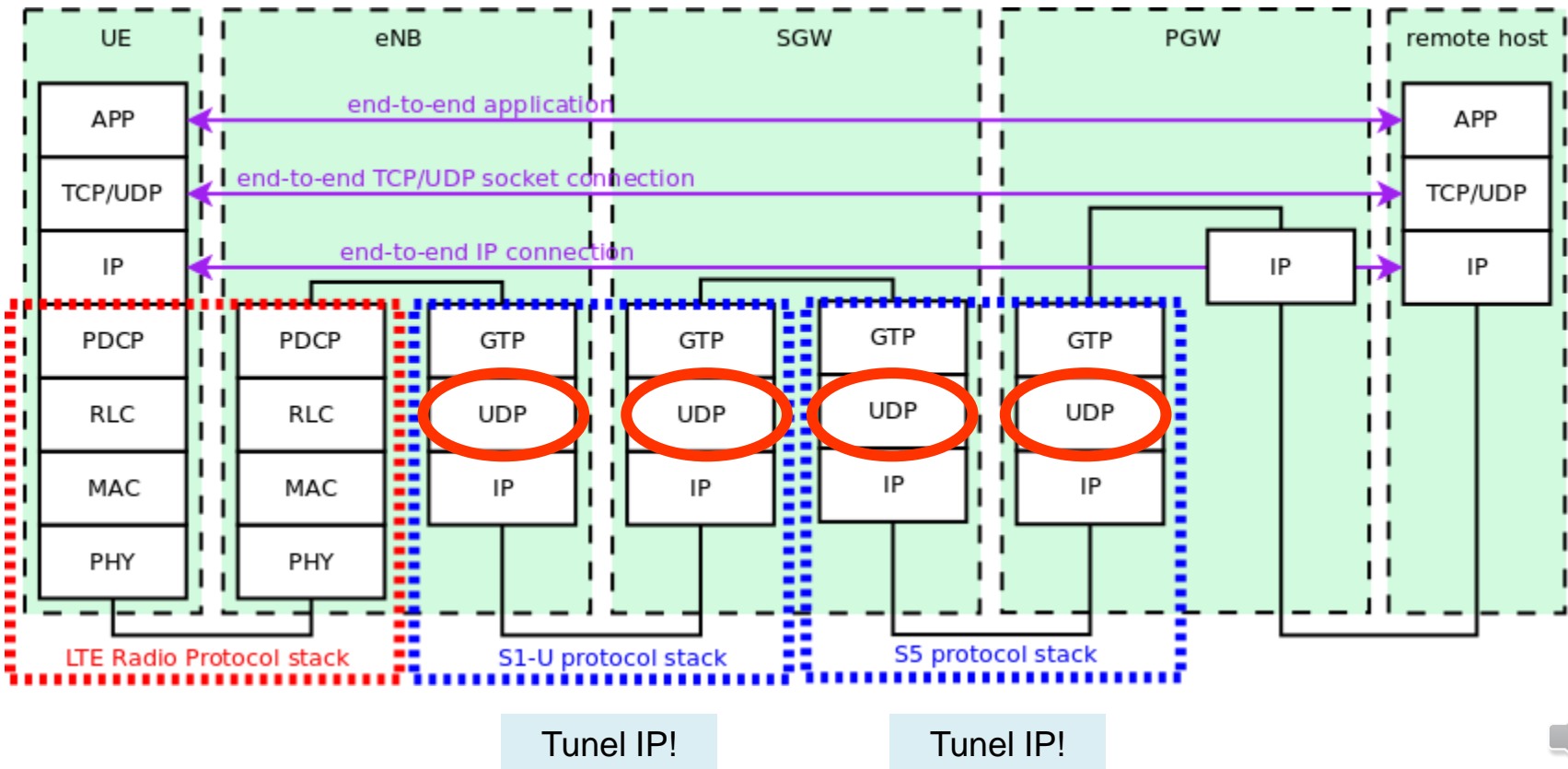
2014



4G

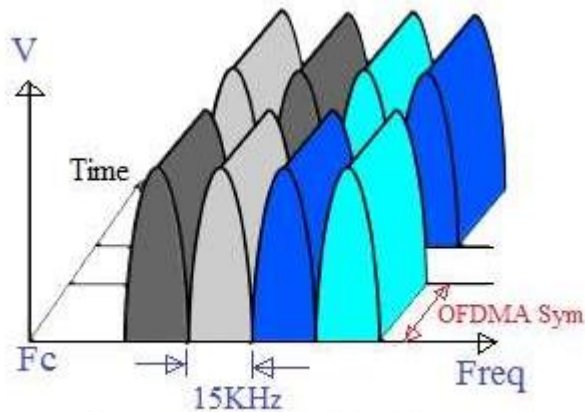
2014

- LTE: Core y voz completamente sobre IP**

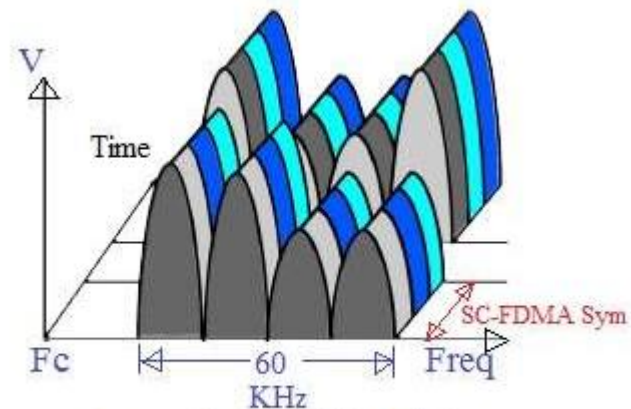


4G

- **LTE: Radio**
 - Downlink: **OFDM** (Orthogonal Frequency Division Multiplexing)
 - Uplink: **SC-FDMA** (Single-carrier FDMA)



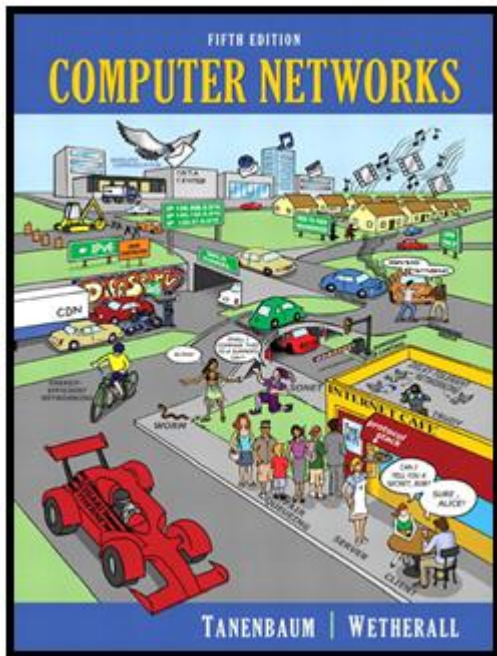
Transmitting using OFDMA



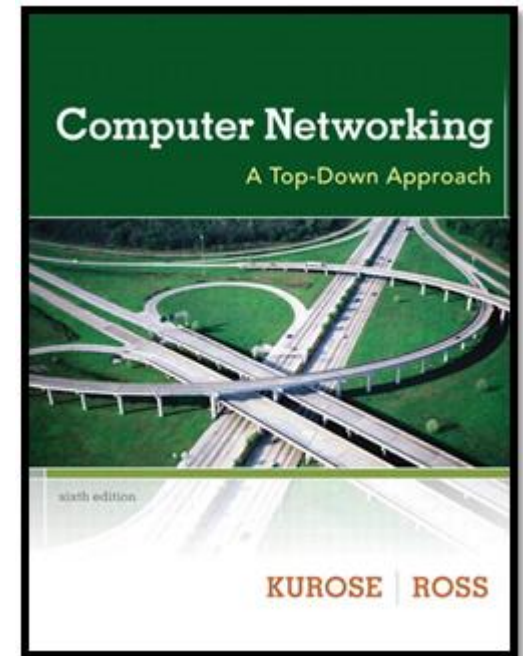
Transmitting using SC-FDMA



Gestión de Movilidad



Capítulo 2



Capítulo 7

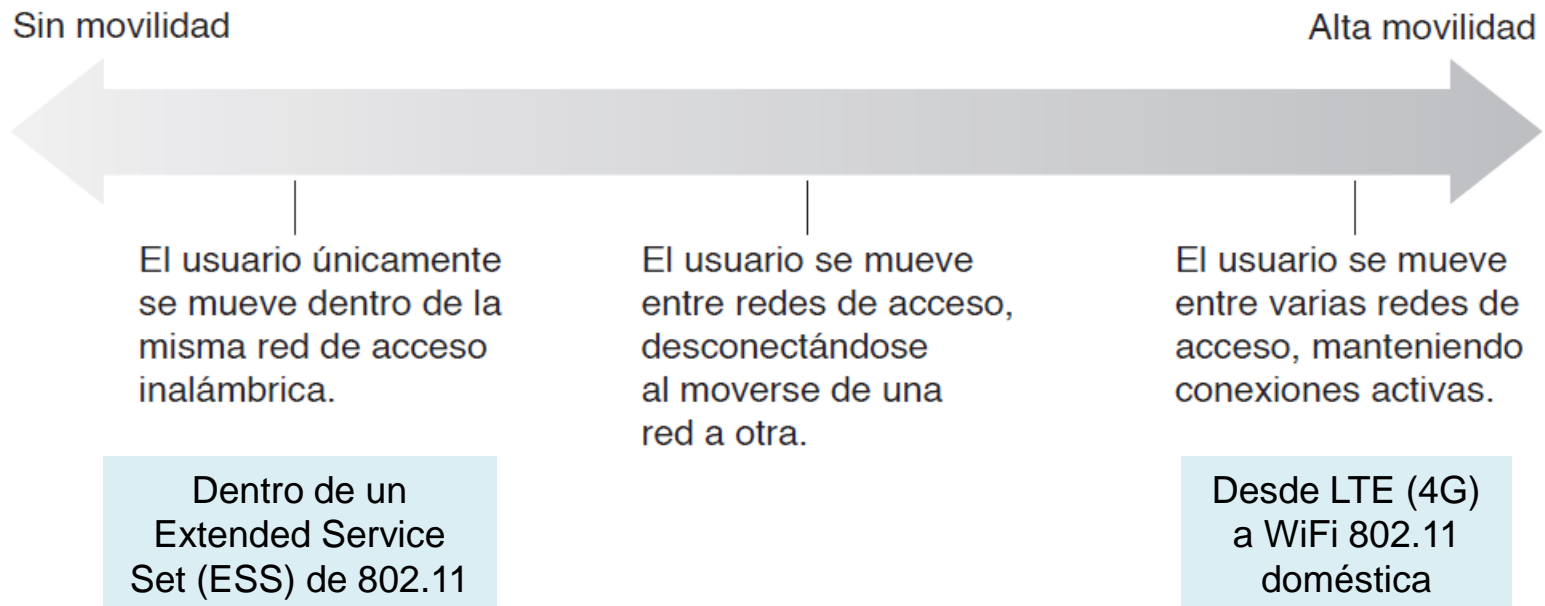
| | | |
|-------|---|-----|
| *2.7 | El sistema de telefonía móvil | 142 |
| 2.7.1 | Teléfonos móviles de primera generación (1G): voz analógica | 143 |
| 2.7.2 | Teléfonos móviles de segunda generación (2G): voz digital | 146 |
| 2.7.3 | Teléfonos móviles de tercera generación (3G): voz y datos digitales | 150 |

| | | |
|-------|--|-----|
| 7.3.0 | Redes de área personal: Bluetooth y ZigBee | 434 |
| 7.4 | Acceso celular a Internet | 456 |
| 7.4.1 | Panorámica de la arquitectura de las redes celulares | 457 |
| 7.4.2 | Redes de datos celulares 3G: llevando Internet a los abonados celulares | 459 |
| 7.4.3 | Hacia la tecnología 4G: LTE | 461 |
| 7.5 | Gestión de la movilidad: principios | 464 |
| 7.5.1 | Direccionamiento | 467 |
| 7.5.2 | Enrutamiento hacia un nodo móvil | 468 |
| 7.6 | IP móvil | 472 |
| 7.7 | Gestión de la movilidad en redes celulares | 476 |
| 7.7.1 | Enrutamiento de llamadas hacia un usuario móvil | 477 |
| 7.7.2 | Transferencia de llamadas en GSM | 478 |
| 7.8 | Tecnología inalámbrica y movilidad: impacto sobre los protocolos de las capas superiores | 481 |
| 7.9 | Resumen | 483 |
| | Problemas y cuestiones de repaso | |



Gestión de Movilidad

- **Nodo móvil:** cambia su punto de conexión con la red a lo largo del tiempo
- **Afecta la capa de red: Dirección IP!**

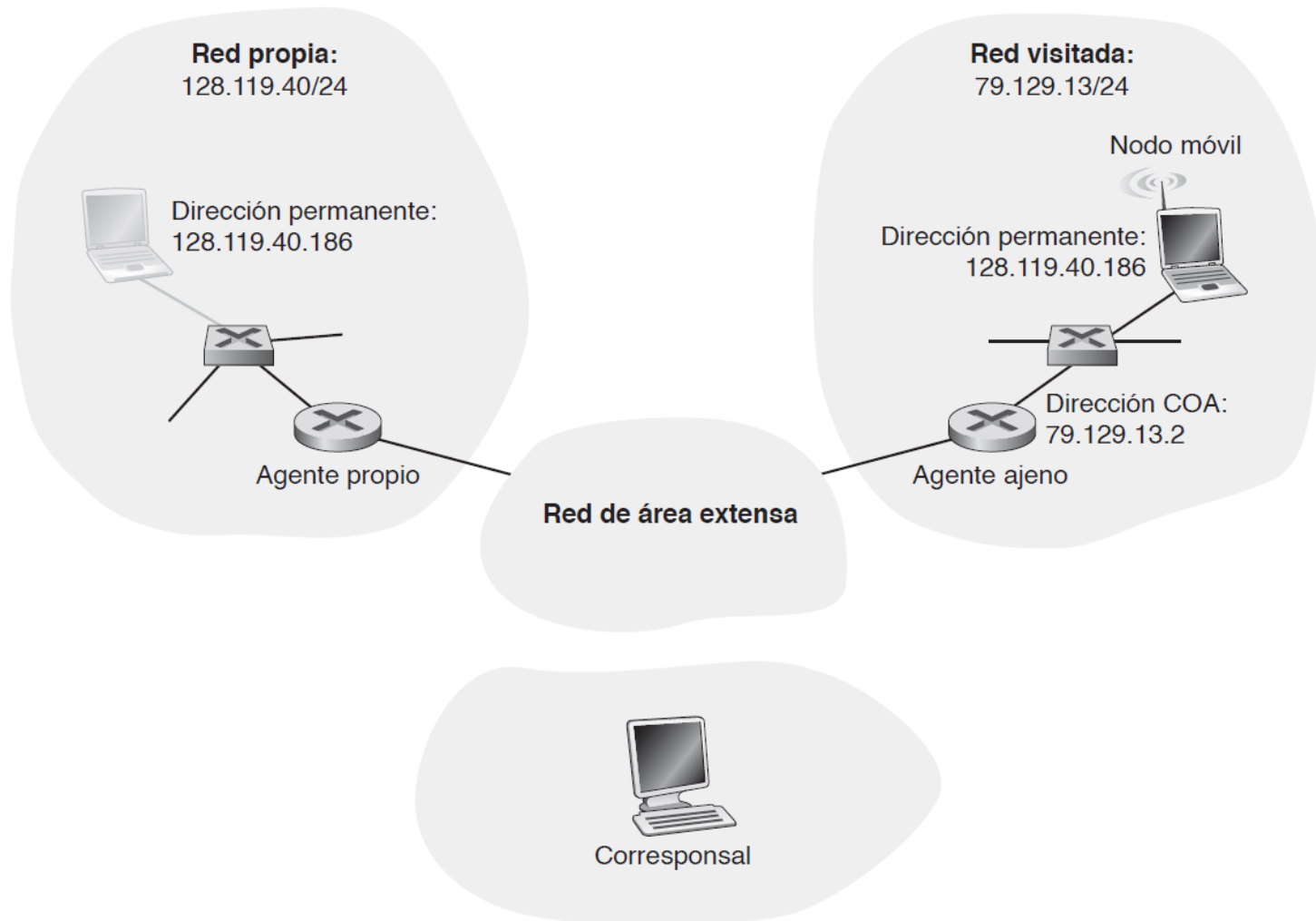


Gestión de Movilidad

- **Home Network:** red propia, el domicilio permanente del dispositivo móvil
 - **Home Agent:** entidad dentro de la red propia que se gestiona la movilidad
- **Foreign Network:** red ajena o visitada, la red remota donde el dispositivo se encuentra
 - **Foreign Agent:** entidad ajena dentro de la red visitada que gestiona la movilidad
- **Correspondent:** corresponsal, el que se quiere comunicar con el nodo móvil



Gestión de Movilidad

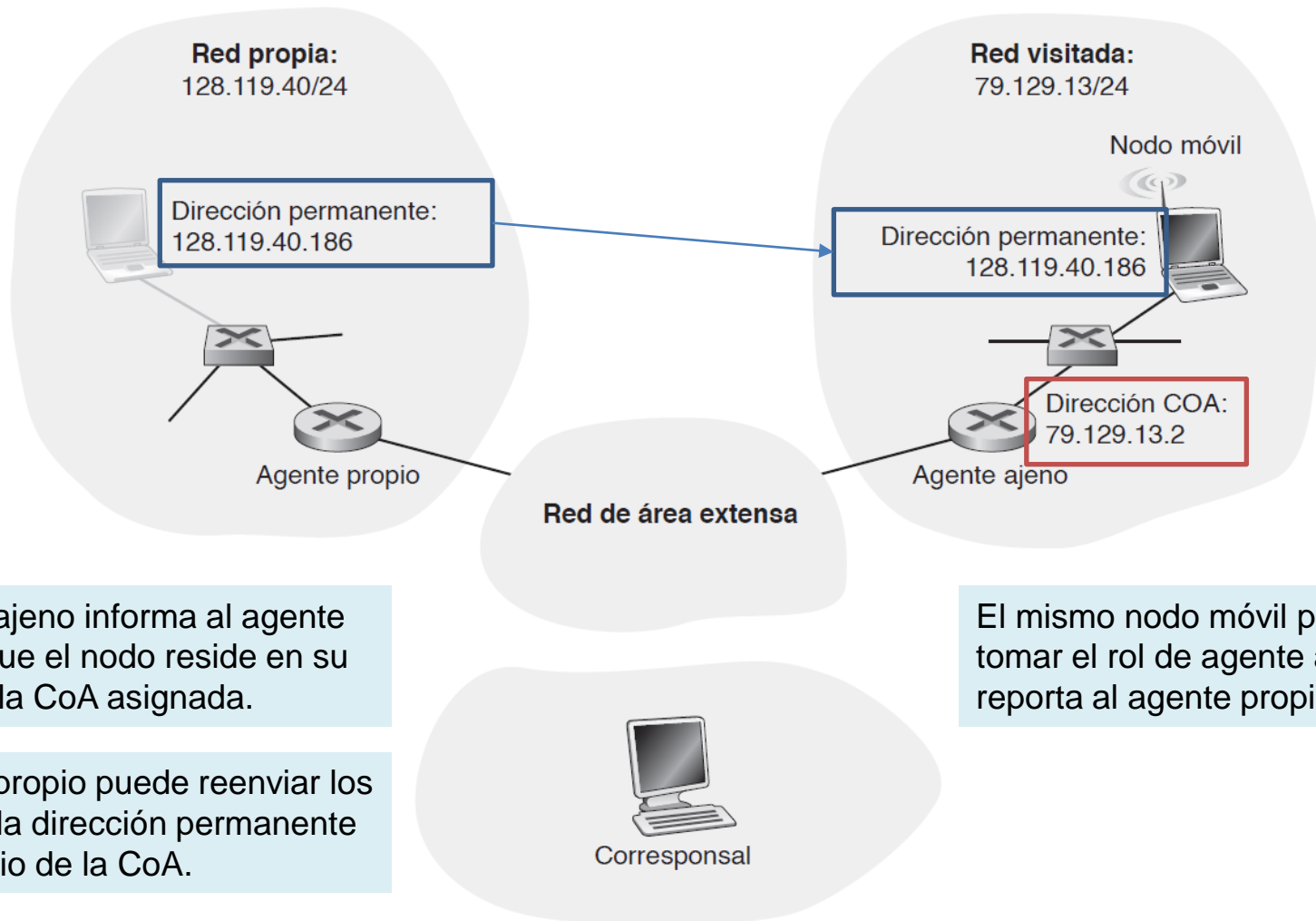


Gestión de Movilidad

- Es deseable que los **nodos móviles conserven su dirección IP** mientras se mueven de una red a otra
- **Opción 1)** Red visitada anuncia nodos de visita y expone ruta. Retira anuncio cuando nodo se mueve
 - Funciona, pero **no es escalable**
- **Opción 2)** Agente propio controla en qué red visitada está el nodo (protocolo dispositivo y agente propio)
 - Agentes propios y ajeno en la **frontera de la red**
 - **Care of Address (CoA)**: parte de red **de la red ajena**, asignada al nodo visitante (**dirección ajena**)



Gestión de Movilidad



Agente ajeno informa al agente propio que el nodo reside en su red con la CoA asignada.

Agente propio puede reenviar los datos a la dirección permanente por medio de la CoA.

El mismo nodo móvil puede tomar el rol de agente ajeno si la reporta al agente propio

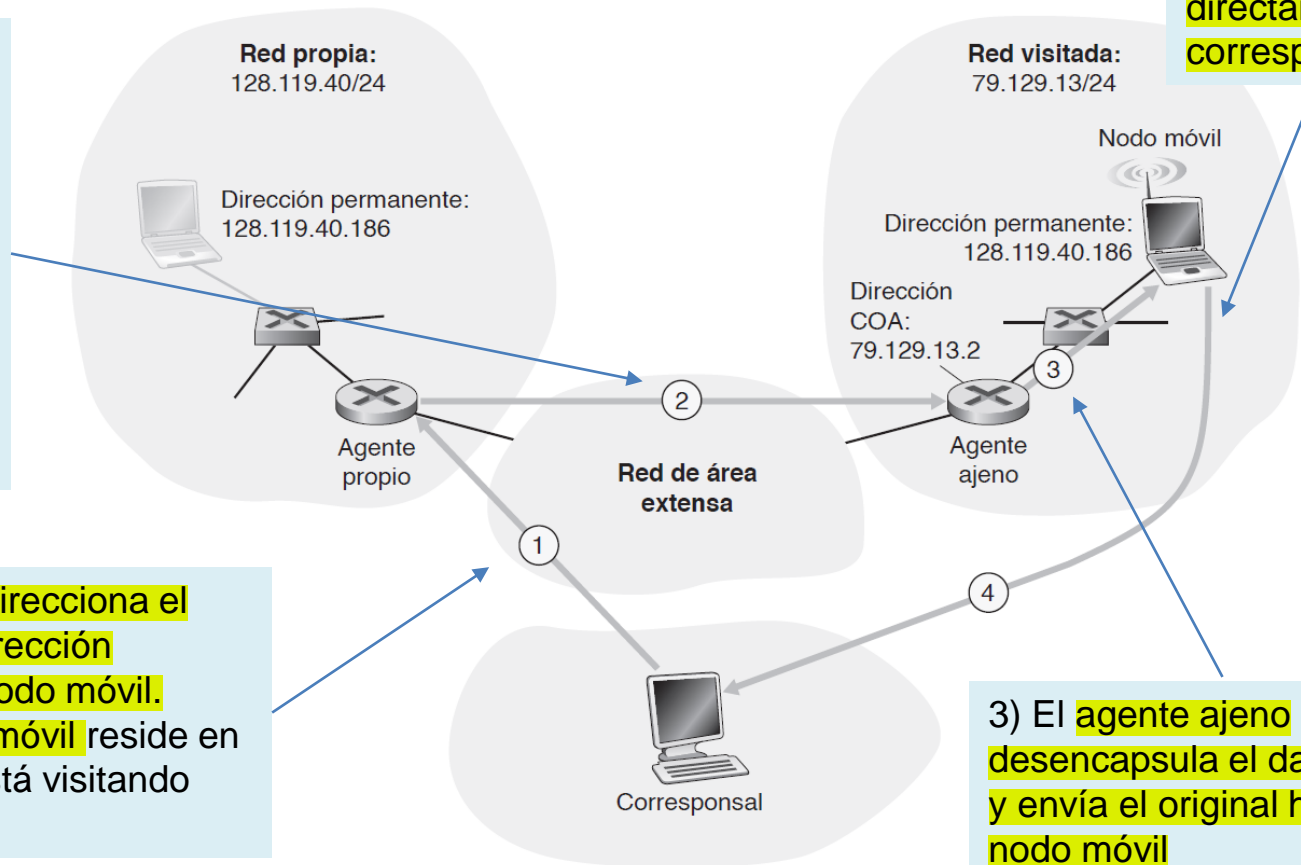


Gestión de Movilidad

- Enrutamiento indirecto

2) El agente propio encapsula el datagrama completo original del correspondiente dentro de un nuevo datagrama más grande destinado a la CoA

1) Correspondiente direcciona el datagrama a la dirección permanente del nodo móvil. Ignora si el nodo móvil reside en su red propia o está visitando una red ajena



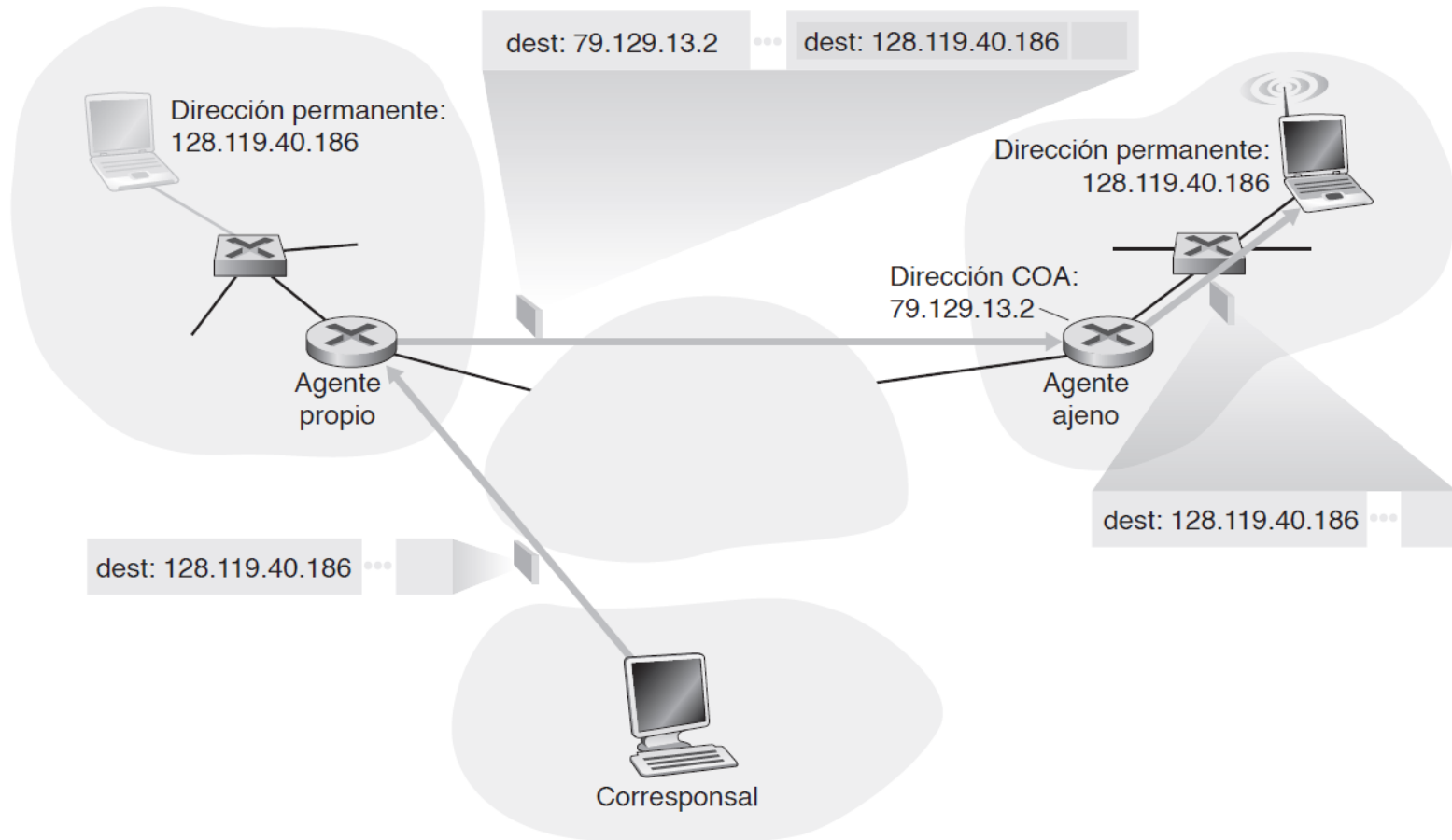
4) El nodo móvil puede dirigir sus datagramas directamente al correspondiente

3) El agente ajeno desencapsula el datagrama y envía el original hacia el nodo móvil



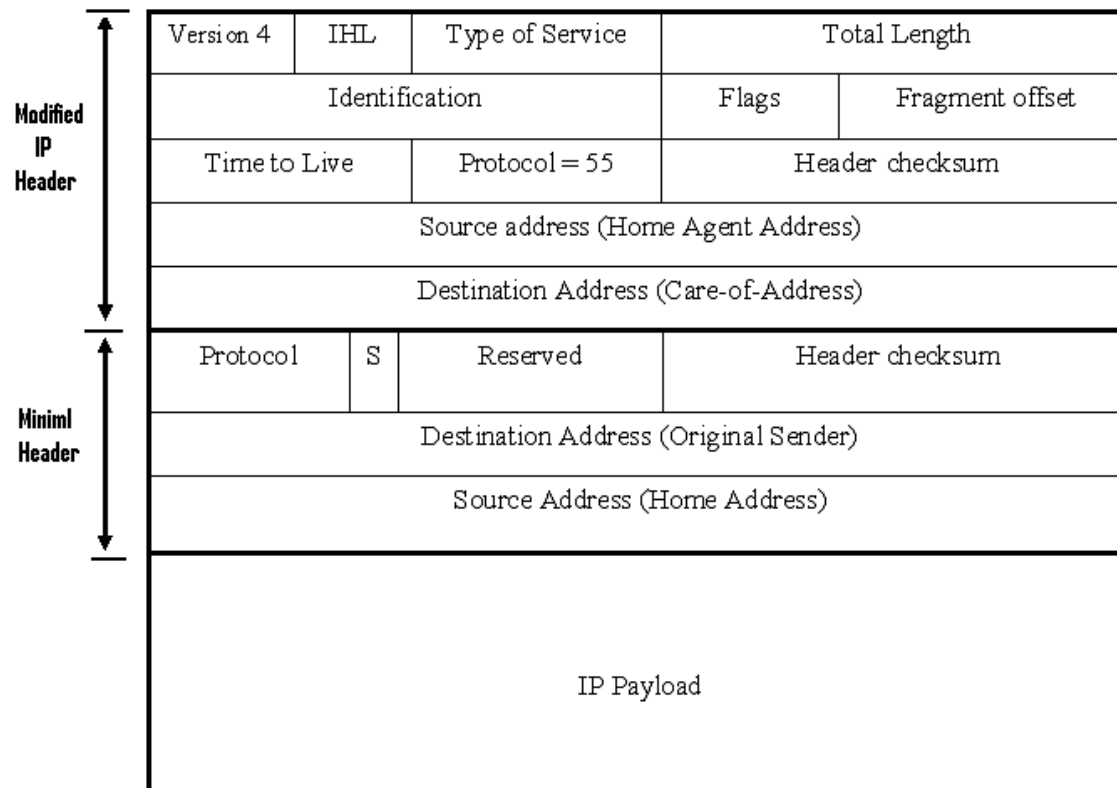
Gestión de Movilidad

- Enrutamiento indirecto (encapsulamiento)



Gestión de Movilidad

- Enrutamiento indirecto (encapsulamiento)



Gestión de Movilidad

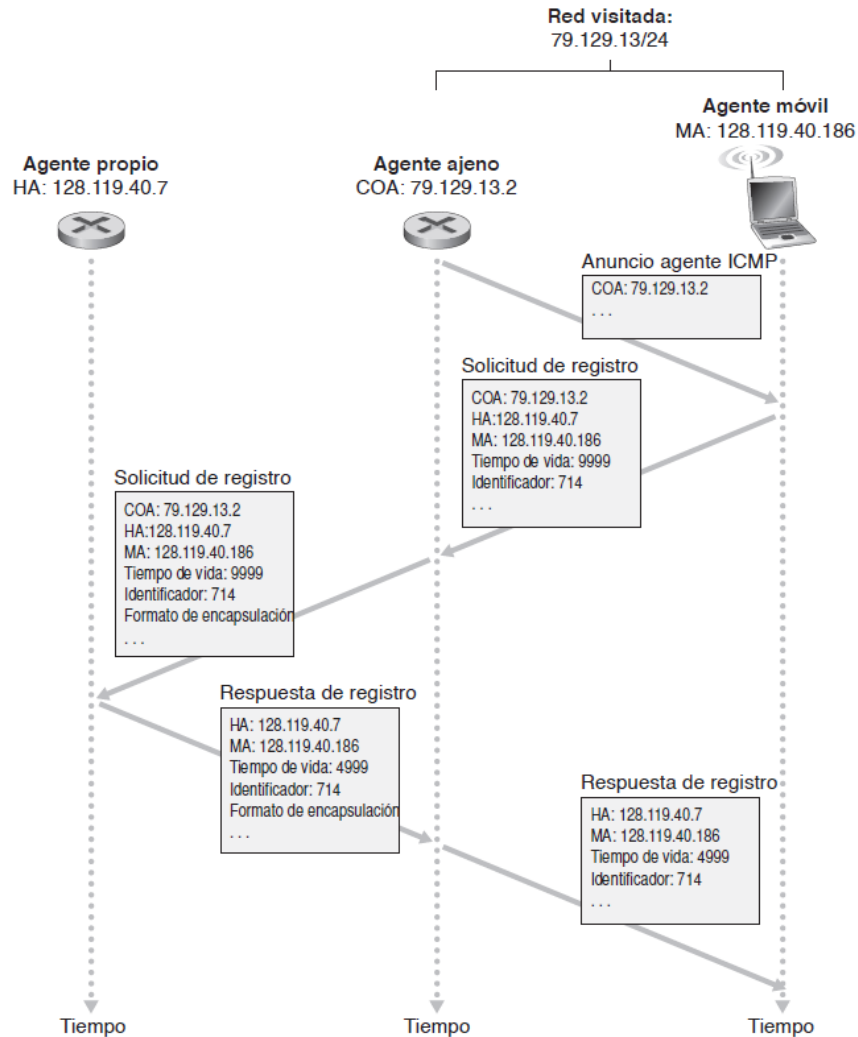
- **Enrutamiento indirecto**
 - Un **nodo móvil** pueda mantener una **conexión activa** **mientras se desplaza de una red a otra** (**actualizan las CoA en el agente propio**)
 - En lo que a un **corresponsal** respecta, **la movilidad es transparente**
 - Se pueden **perder unos pocos datagramas en la transición** (**absorbido por recuperación de congestión en capas superiores**)
 - Usado por **Mobile IP** [RFC 5944]



Gestión de Movilidad

Mobile IP:

Descubrimiento
del agente ajeno
usando el
protocolo ICMP



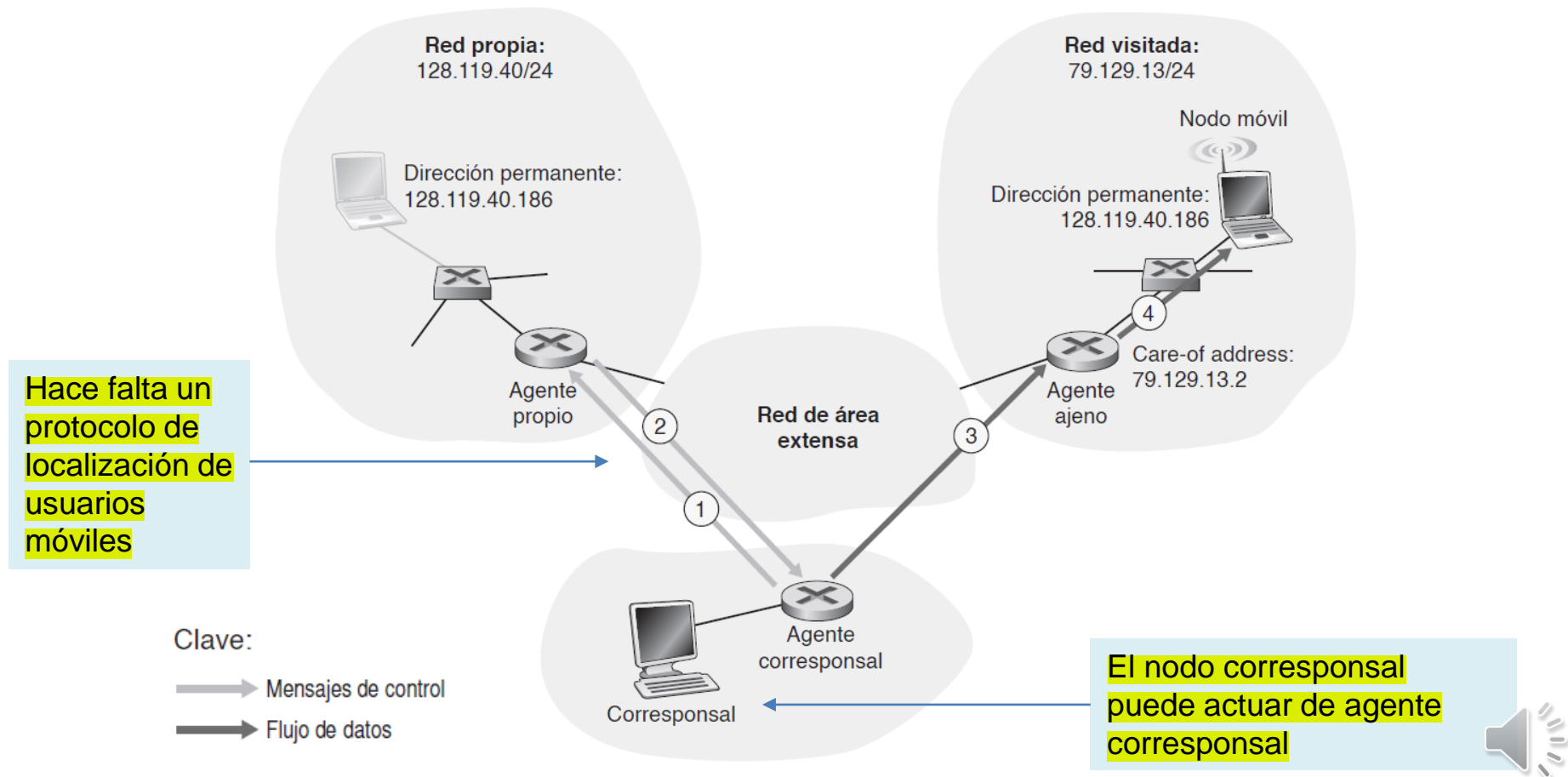
Gestión de Movilidad

- **Enrutamiento directo**
 - Enrutamiento indirecto sufre de la ineficiencia conocida como *enrutamiento triangular*
 - Puede ser ineficiente incluso si los nodos origen y destino están físicamente en el mismo lugar
 - La alternativa es que el correspondiente determina primero la COA del nodo móvil



Gestión de Movilidad

- Enrutamiento directo



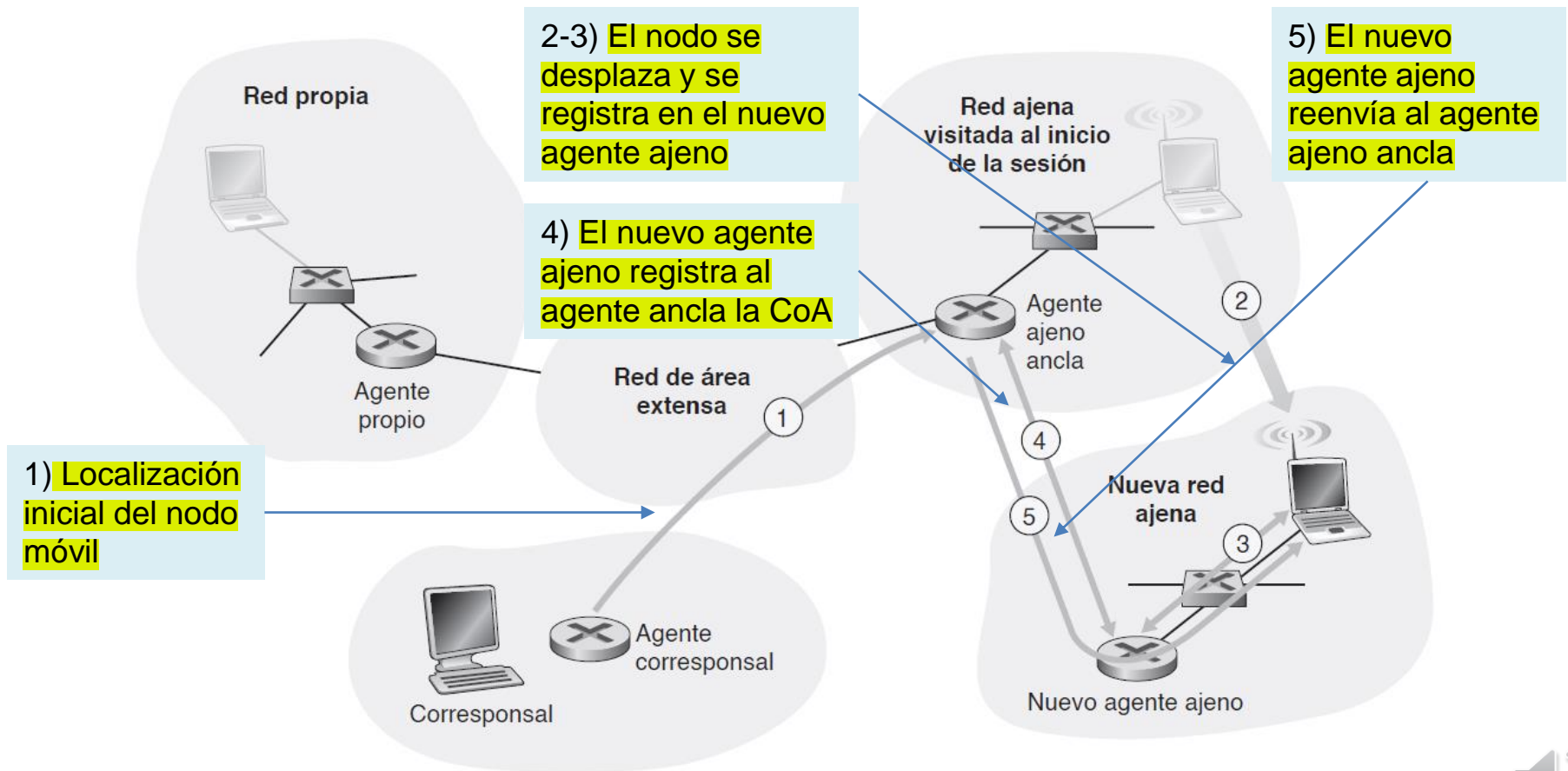
Gestión de Movilidad

- **Enrutamiento directo**
 - Requiere de un protocolo específico para la localización de usuarios móviles
 - El movimiento del nodo móvil de una red a otra dejaría al corresponsal desconectado (sólo se consulta la localización al inicio de la sesión)
 - **Opción 1)** protocolo específico de actualización al corresponsal
 - **Opción 2)** agente ajeno ancla (anchor), usado en redes GSM

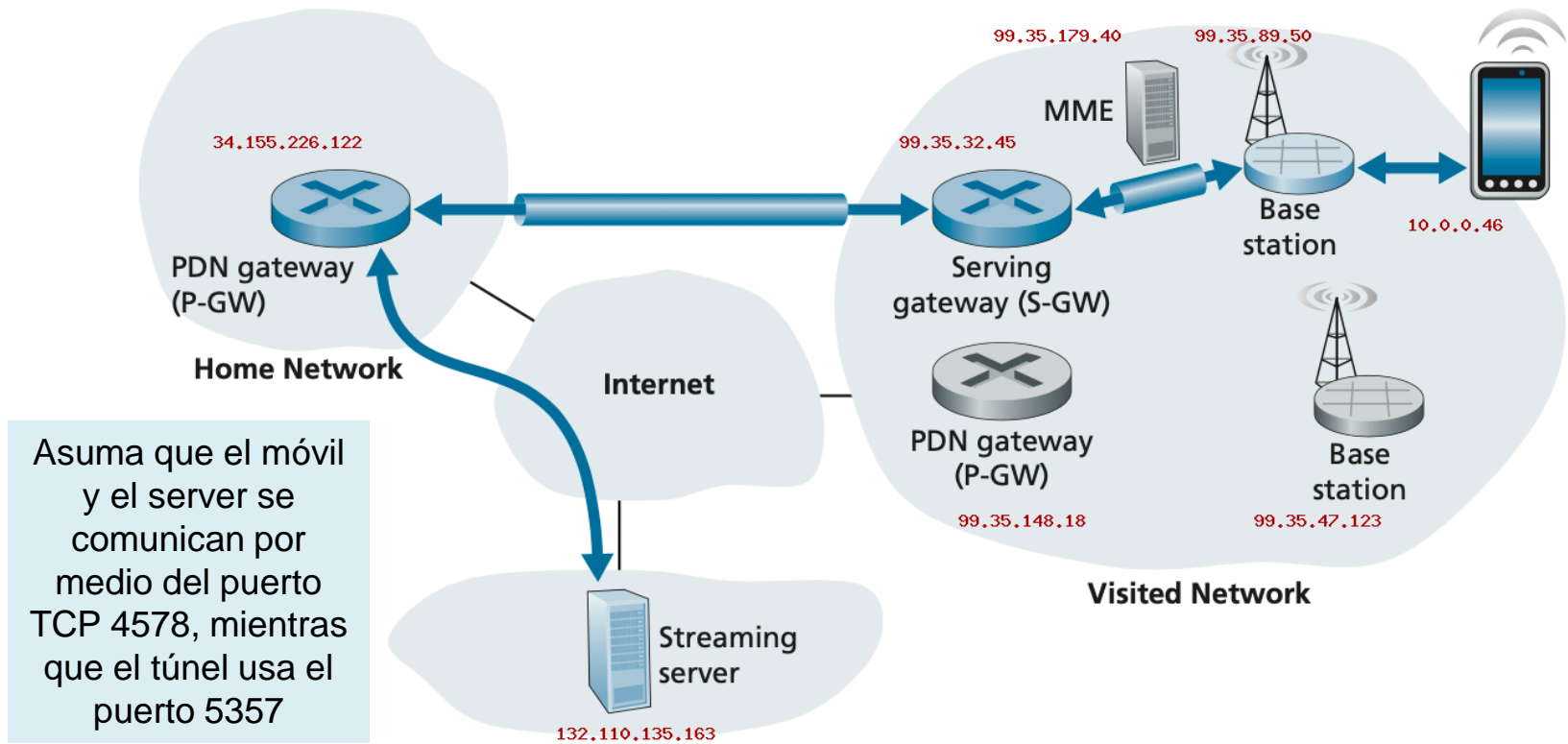


Gestión de Movilidad

- Enrutamiento directo



Gestión de Movilidad en 4G



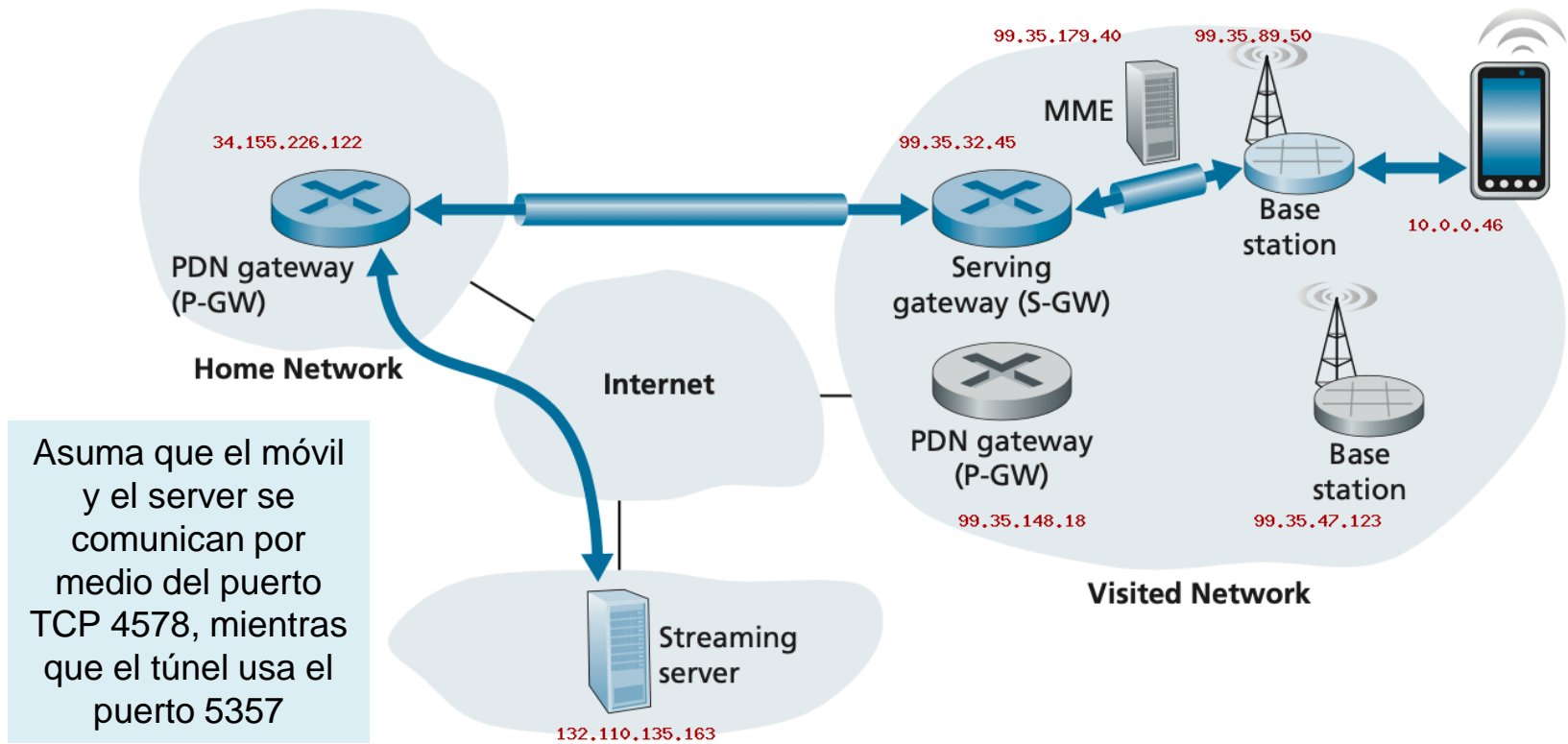
Asuma que el móvil y el server se comunican por medio del puerto TCP 4578, mientras que el túnel usa el puerto 5357

1)Cuál es la IP origen del datagrama enviado desde el móvil?

— 10.0.0.46



Gestión de Movilidad en 4G

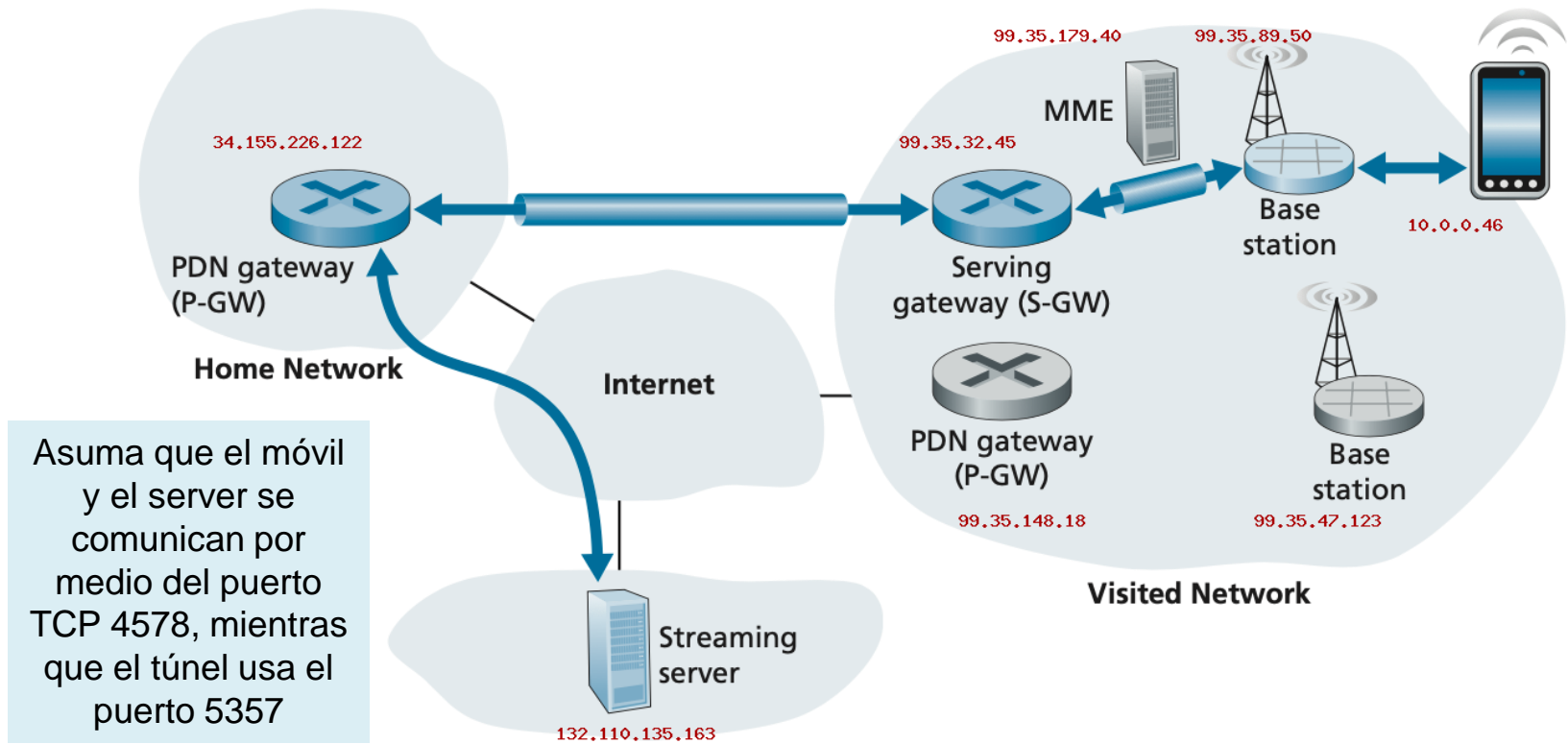


2)Cuál es la IP destino del datagrama enviado desde el móvil?

- 132.110.135.163



Gestión de Movilidad en 4G

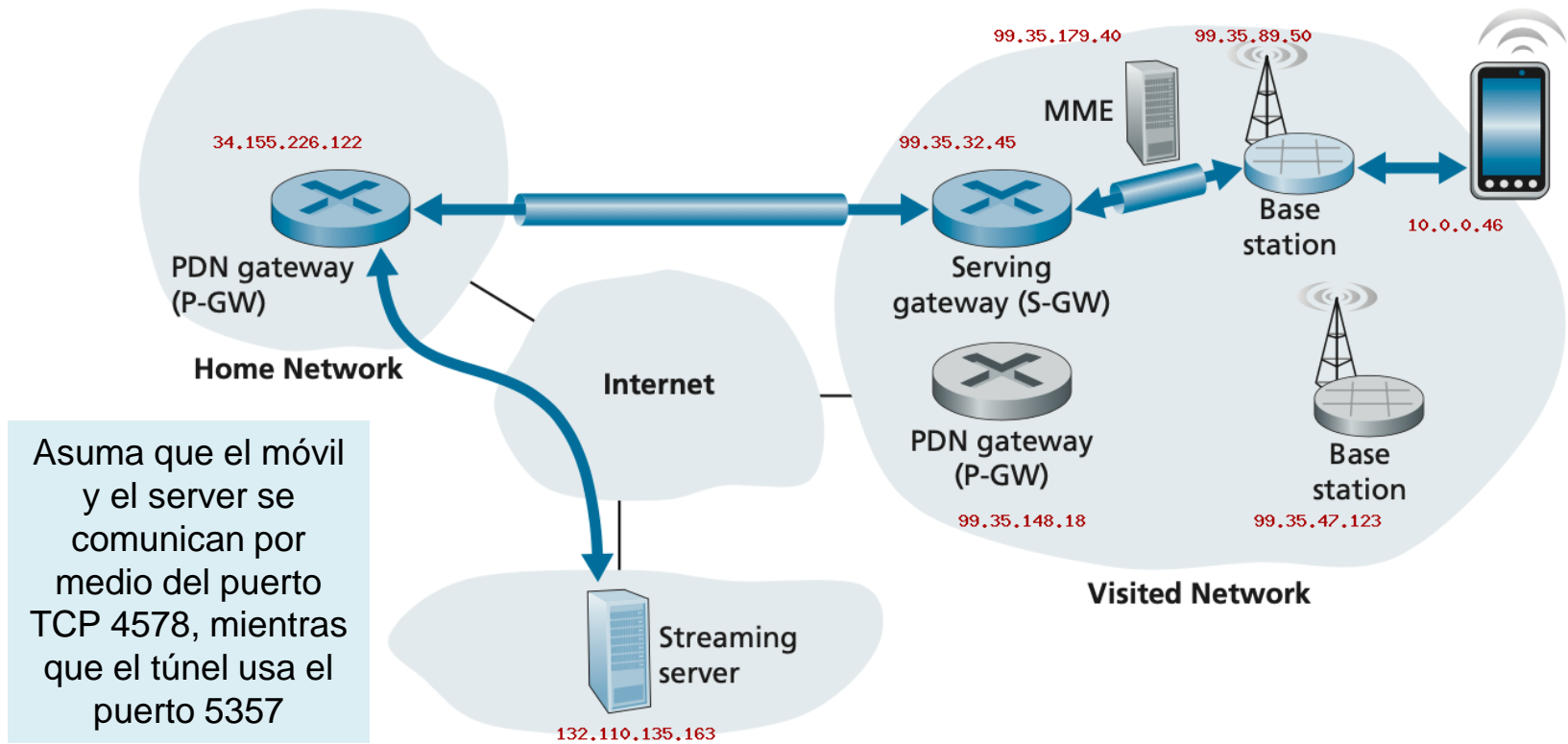


3)Cuál es el # puerto del datagrama enviado desde el móvil?

— 4578



Gestión de Movilidad en 4G

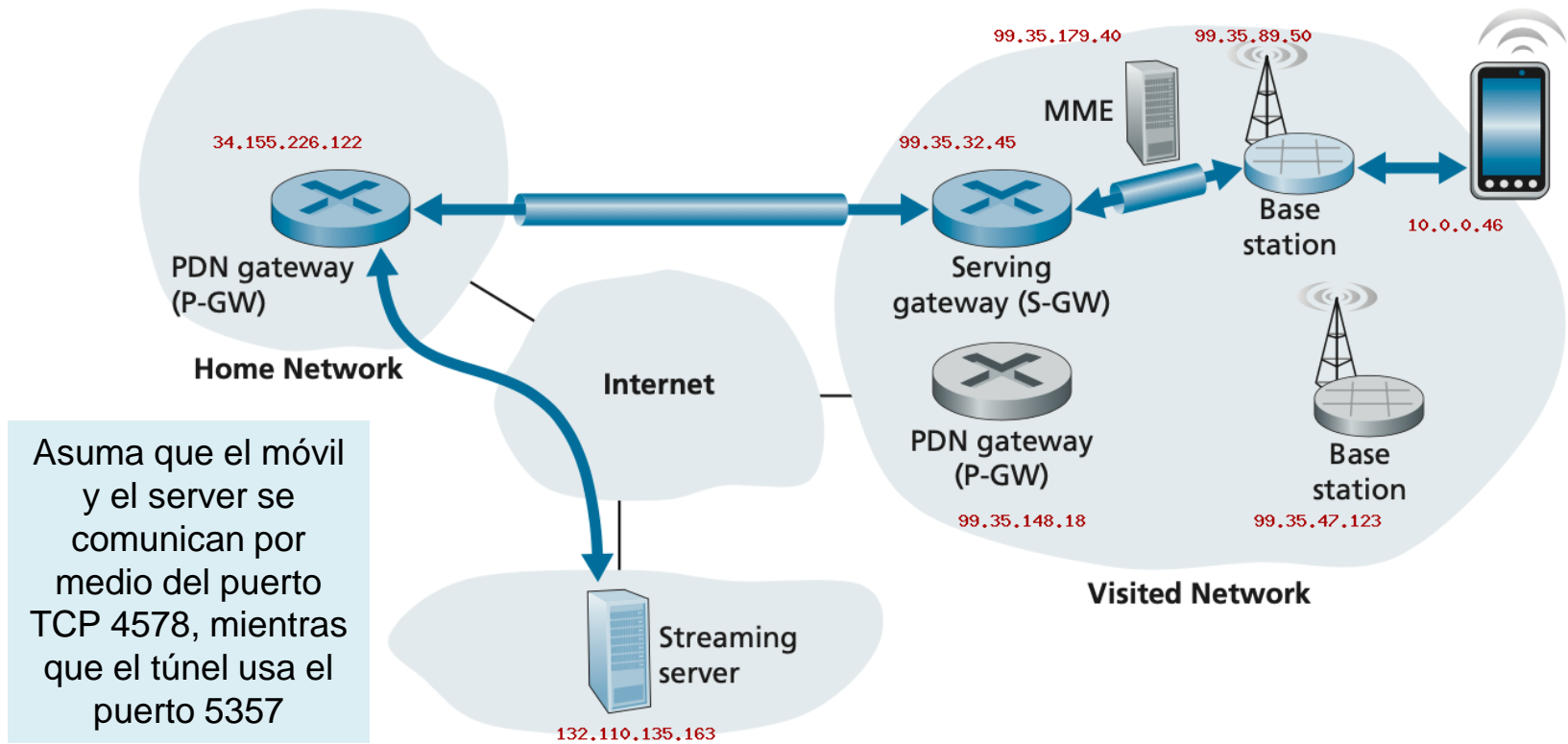


4) Hay un datagrama encapsulado enviado desde el móvil?

— No



Gestión de Movilidad en 4G



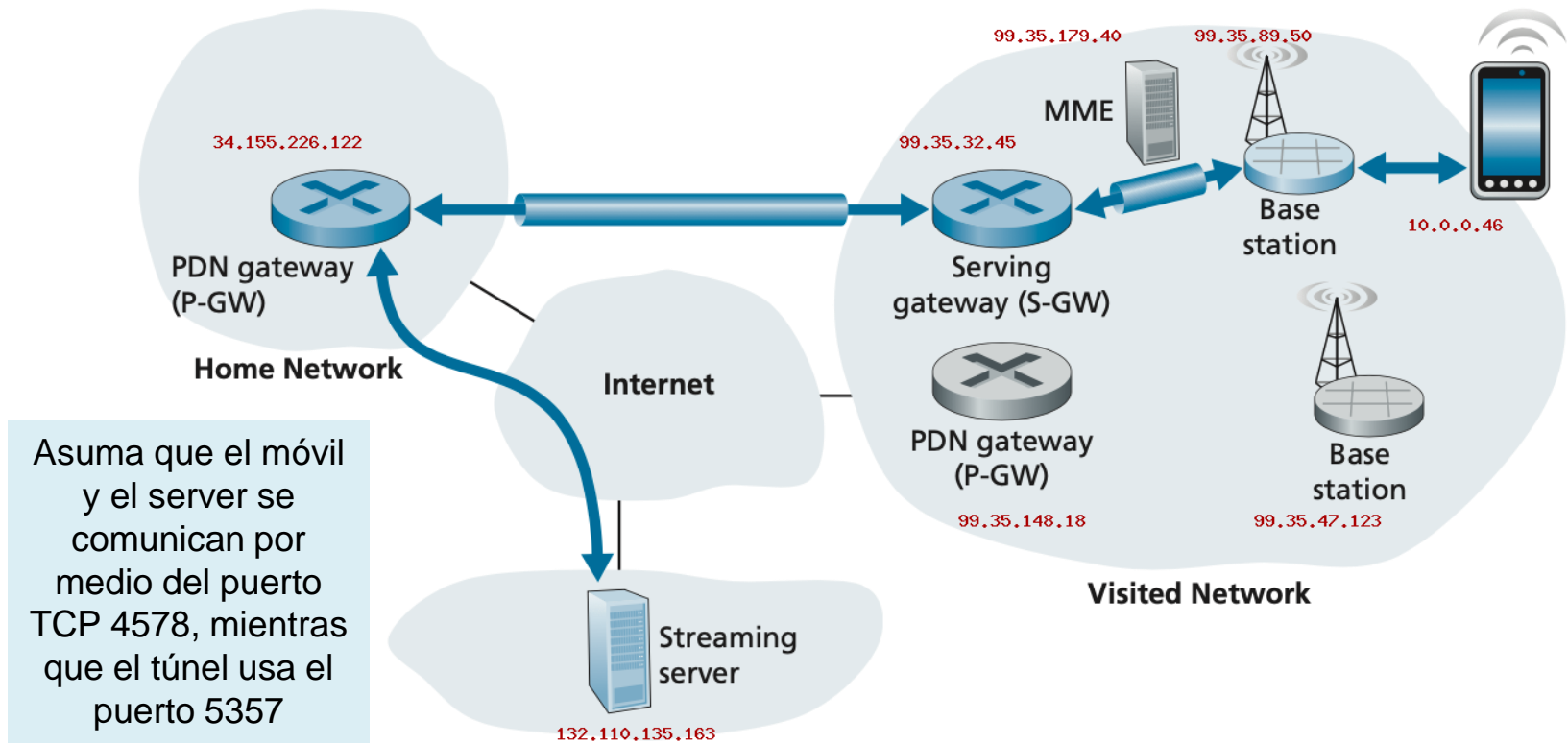
5) Cual es el IP origen del datagrama entre la BS y S-GW?

— 99.35.89.50

El túnel IP
en 4G!



Gestión de Movilidad en 4G



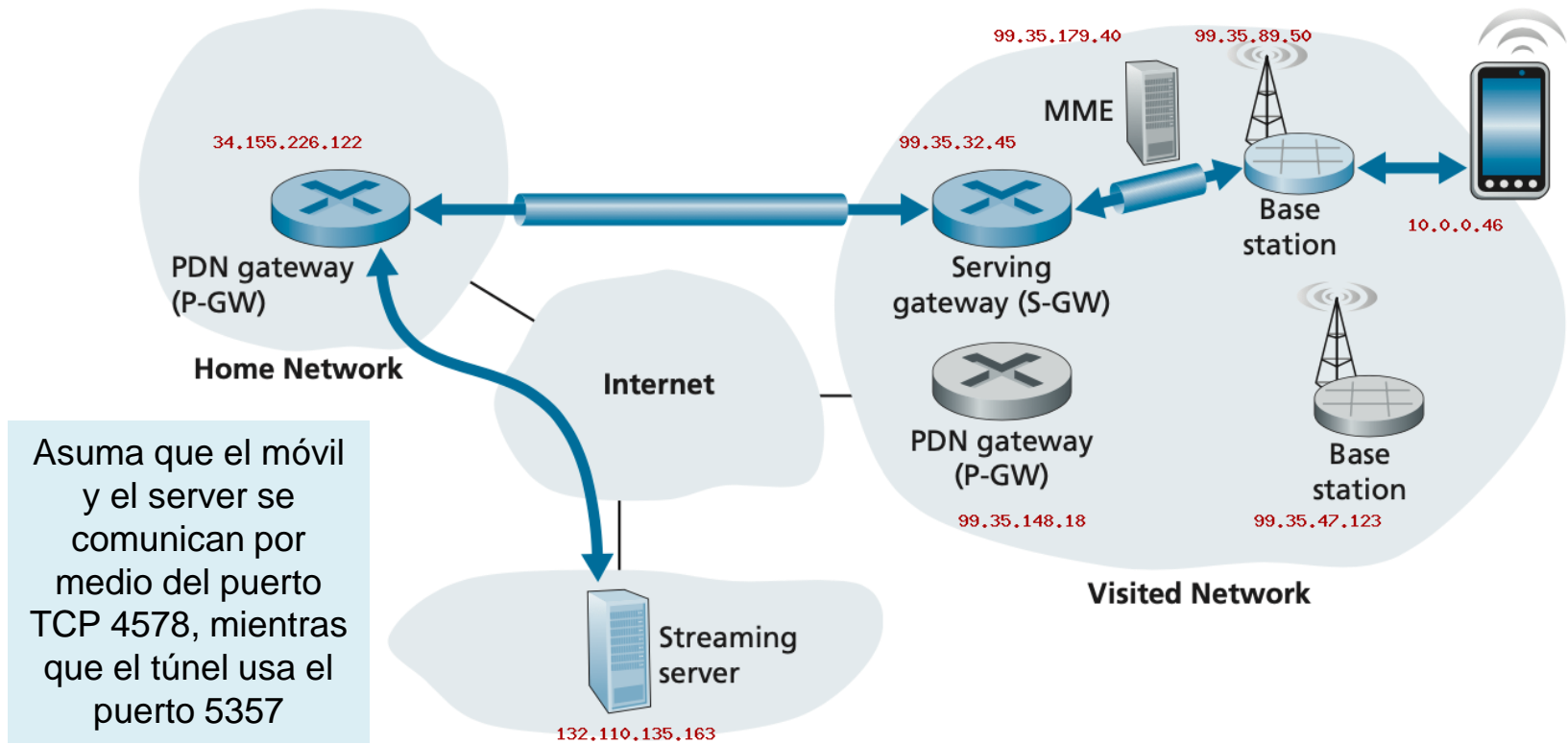
6) Cual es el IP destino del datagrama entre la BS y S-GW?

— 99.35.32.45

El túnel IP
en 4G!



Gestión de Movilidad en 4G



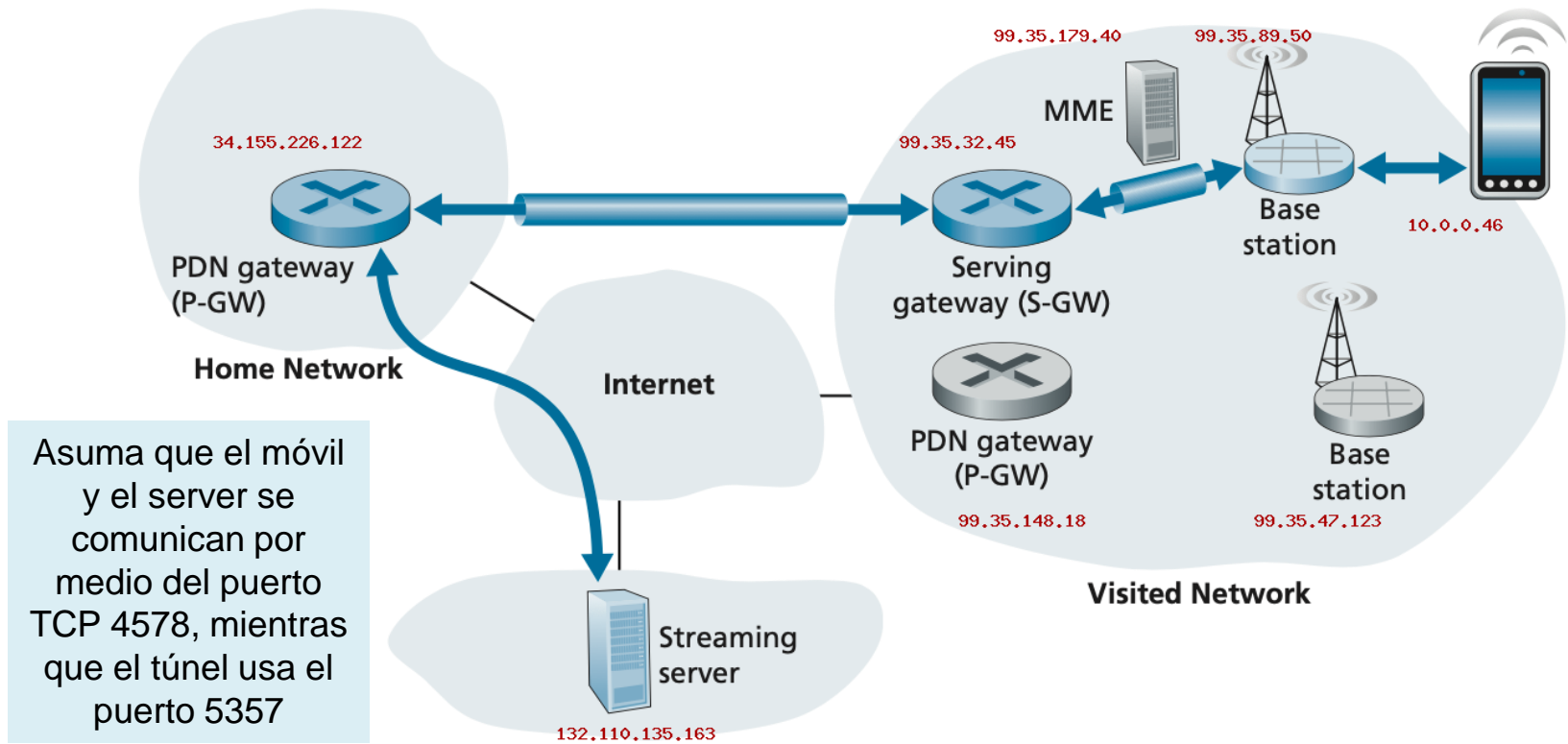
7)Cuál es el # puerto del datagrama entre la BS y S-GW?

— 5357

El túnel IP
en 4G!



Gestión de Movilidad en 4G



Asuma que el móvil y el server se comunican por medio del puerto TCP 4578, mientras que el túnel usa el puerto 5357

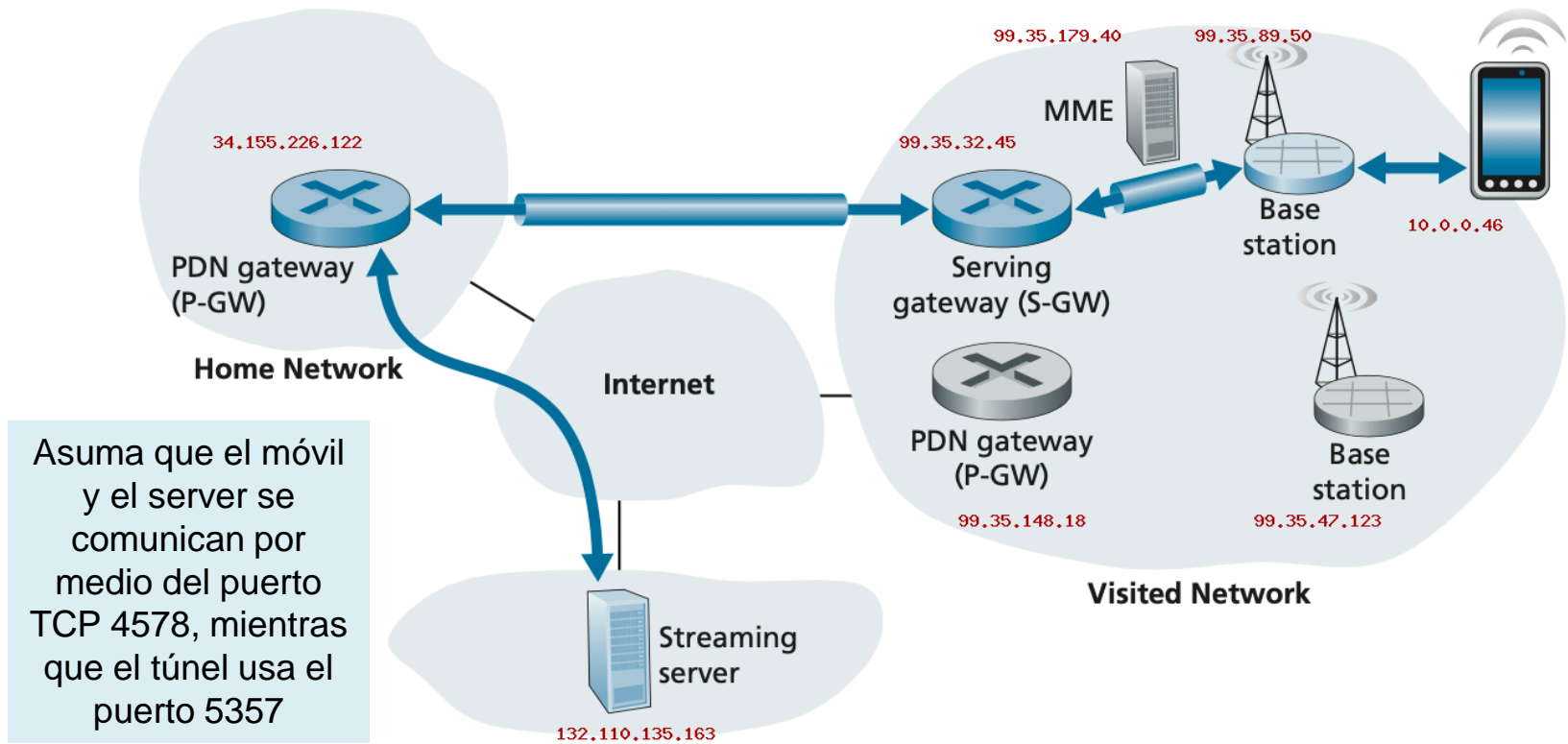
8)Cuál es el protocolo de transporte entre la BS y el S-GW?

— UDP

El túnel IP
en 4G!



Gestión de Movilidad en 4G



Asuma que el móvil y el server se comunican por medio del puerto TCP 4578, mientras que el túnel usa el puerto 5357

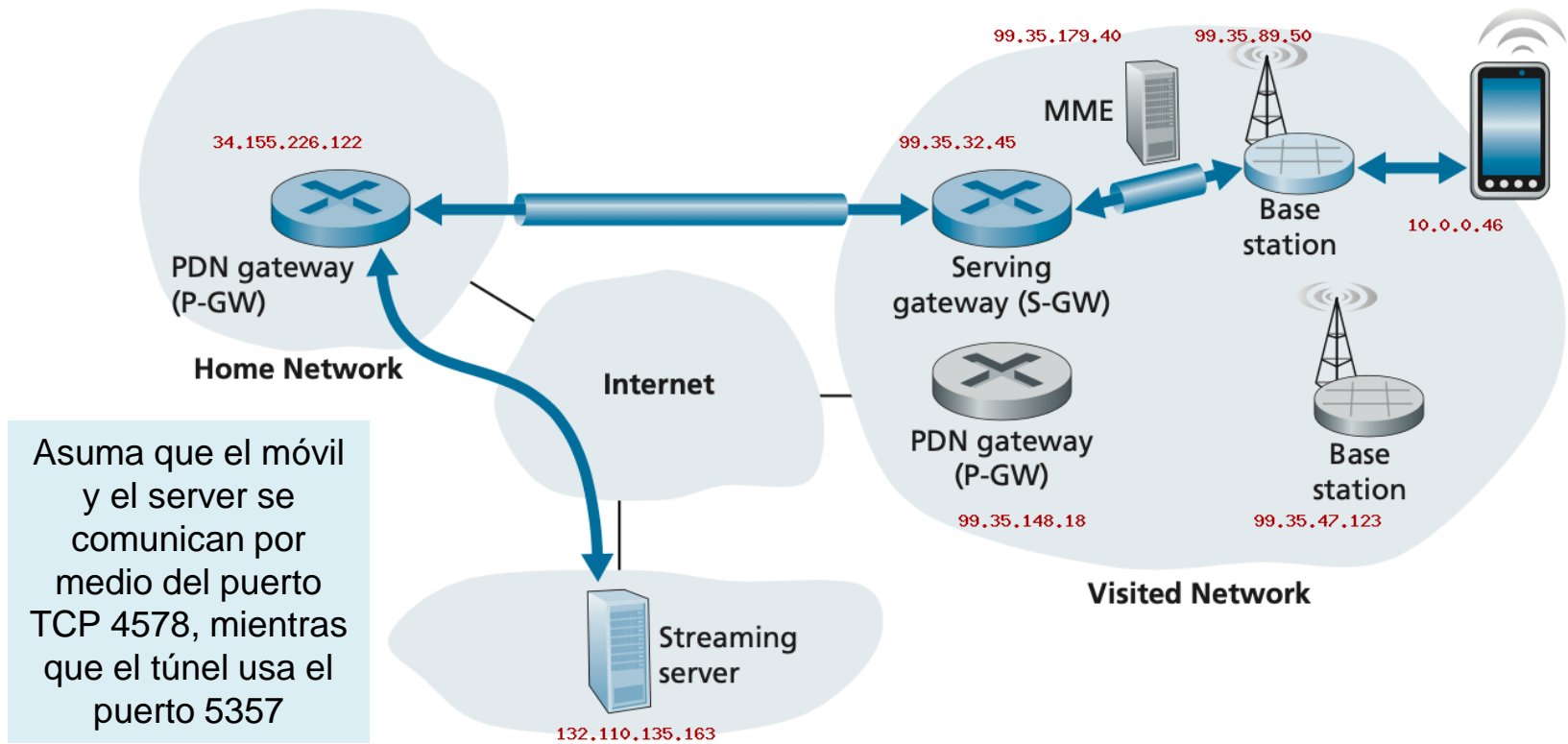
9)Cuál es la dirección origen del datagrama encapsulado entre BS y S-GW?

— 10.0.0.46

El túnel IP
en 4G!



Gestión de Movilidad en 4G



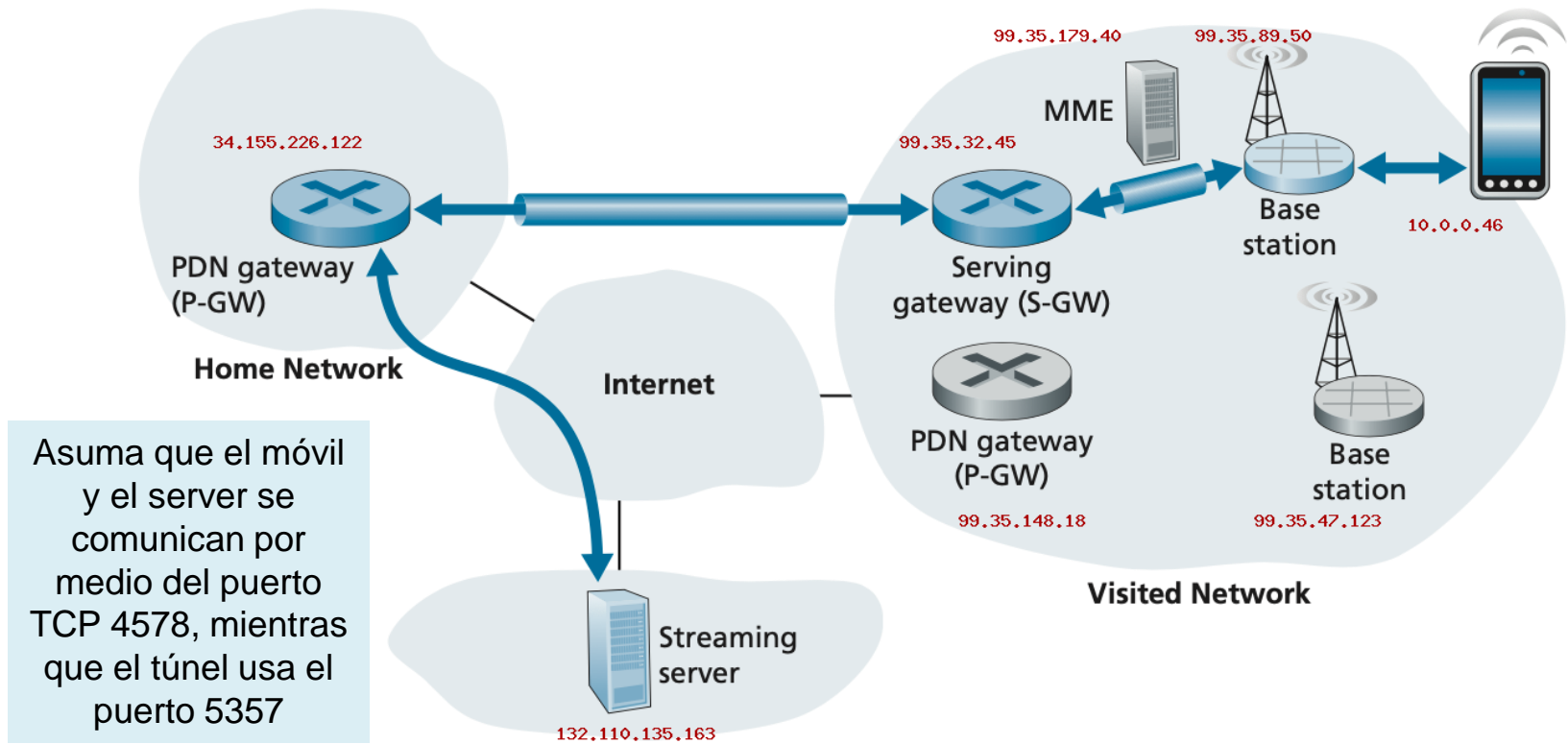
10)Cuál es la dirección destino del datagrama encapsulado entre BS y S-GW?

– 132.110.135.163

El túnel IP
en 4G!



Gestión de Movilidad en 4G



11)Cuál es el # puerto del datagrama encapsulado entre BS y S-GW?

— 4578

El túnel IP
en 4G!



Conclusión

- Las redes IP **no** fueron originalmente diseñadas para la **movilidad**
- Existen **adaptaciones** para movilidad, pero tienen **penalizaciones de rendimiento**
- La **crítica a IP** es la **unificación de la “dirección” y la “identificación”** en un solo campo, la IP
- Existen **otras arquitecturas** (i.e., RINA) que solucionan el problema, pero... IP es IP

