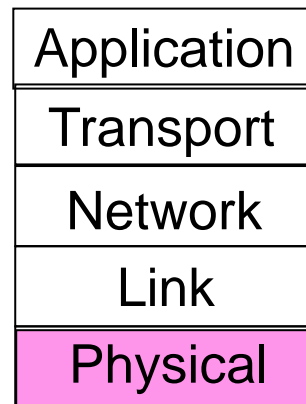


Capítulo 7

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

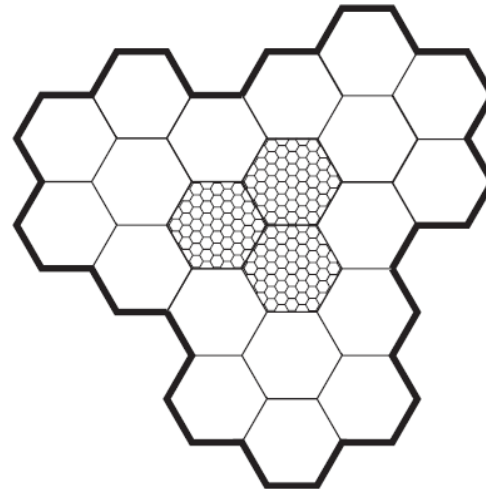
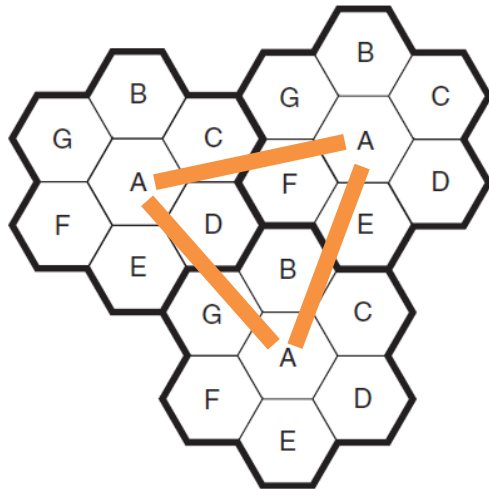


Celdas

- **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

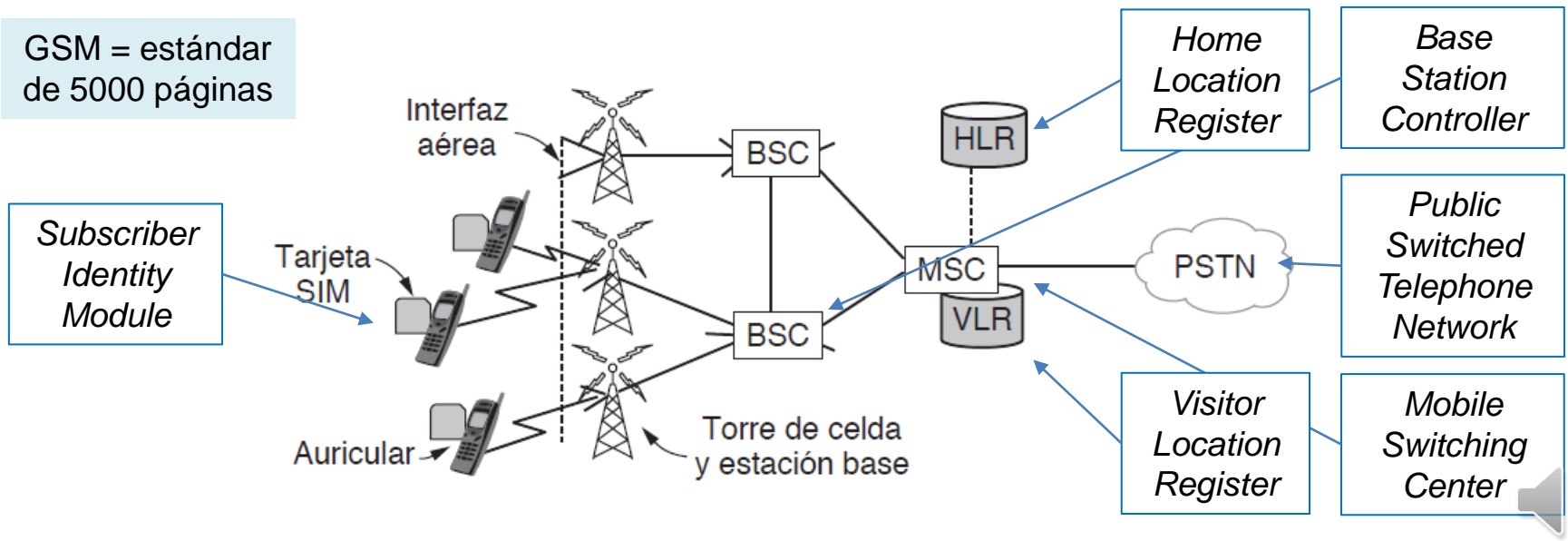
1. **Móvil** encendido → examina 21 canales de control para encontrar la señal más potente
2. El **móvil** difunde su número de serie (32 bits)
3. La **base** avisa al **MSC** y registra el **móvil** (asociado a esta base)
4. El **móvil** repite registración periódicamente
5. El **MSC** gestiona llamadas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



2G

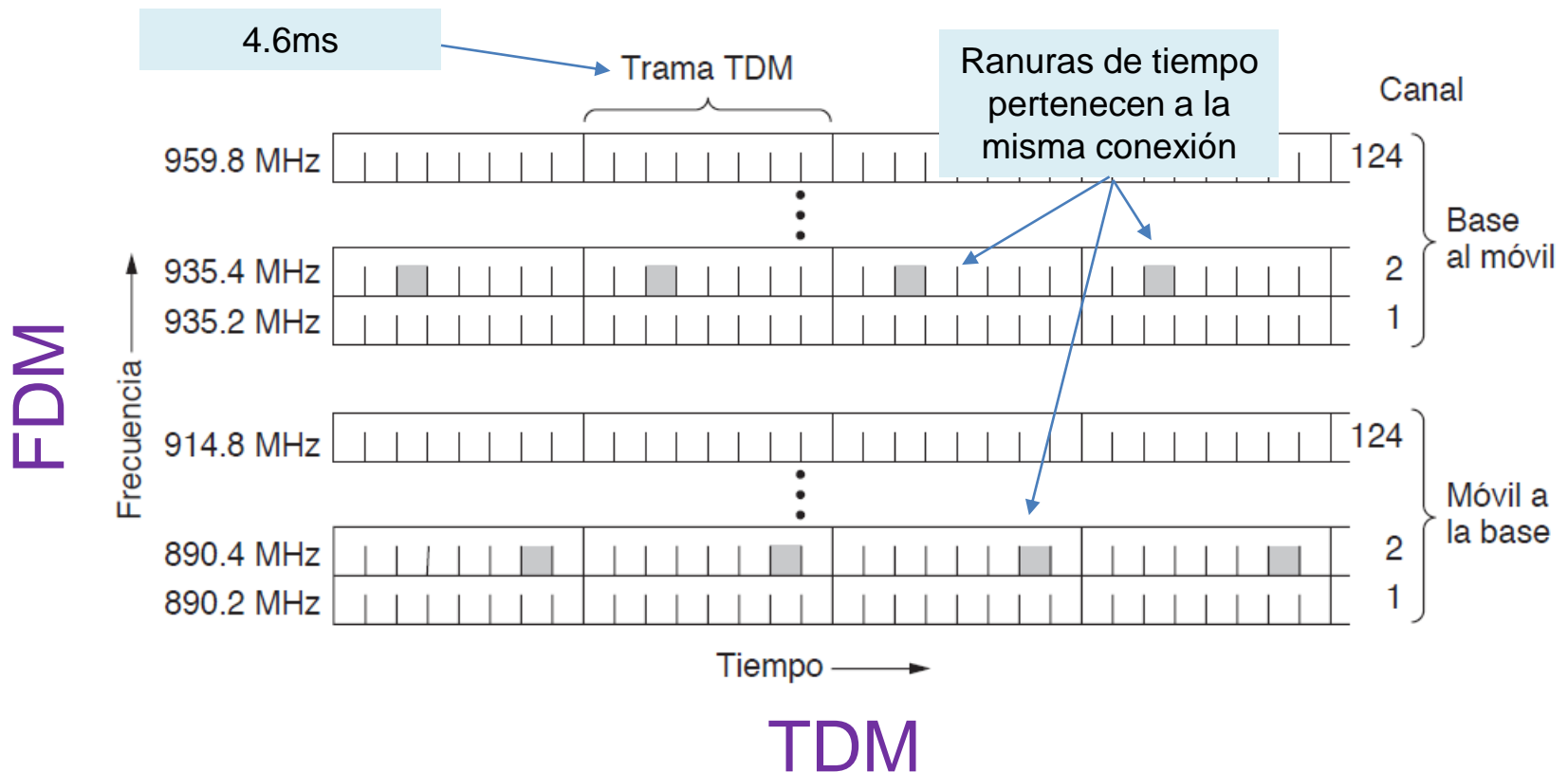
- **CDMA** (Acceso Múltiple por División de Código)
→ EEUU, pero no prospera
- **GSM** (Global System for Mobile Comms.) 1991
→ Europa, prospera en el mundo

GSM = estándar de 5000 páginas



2G

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

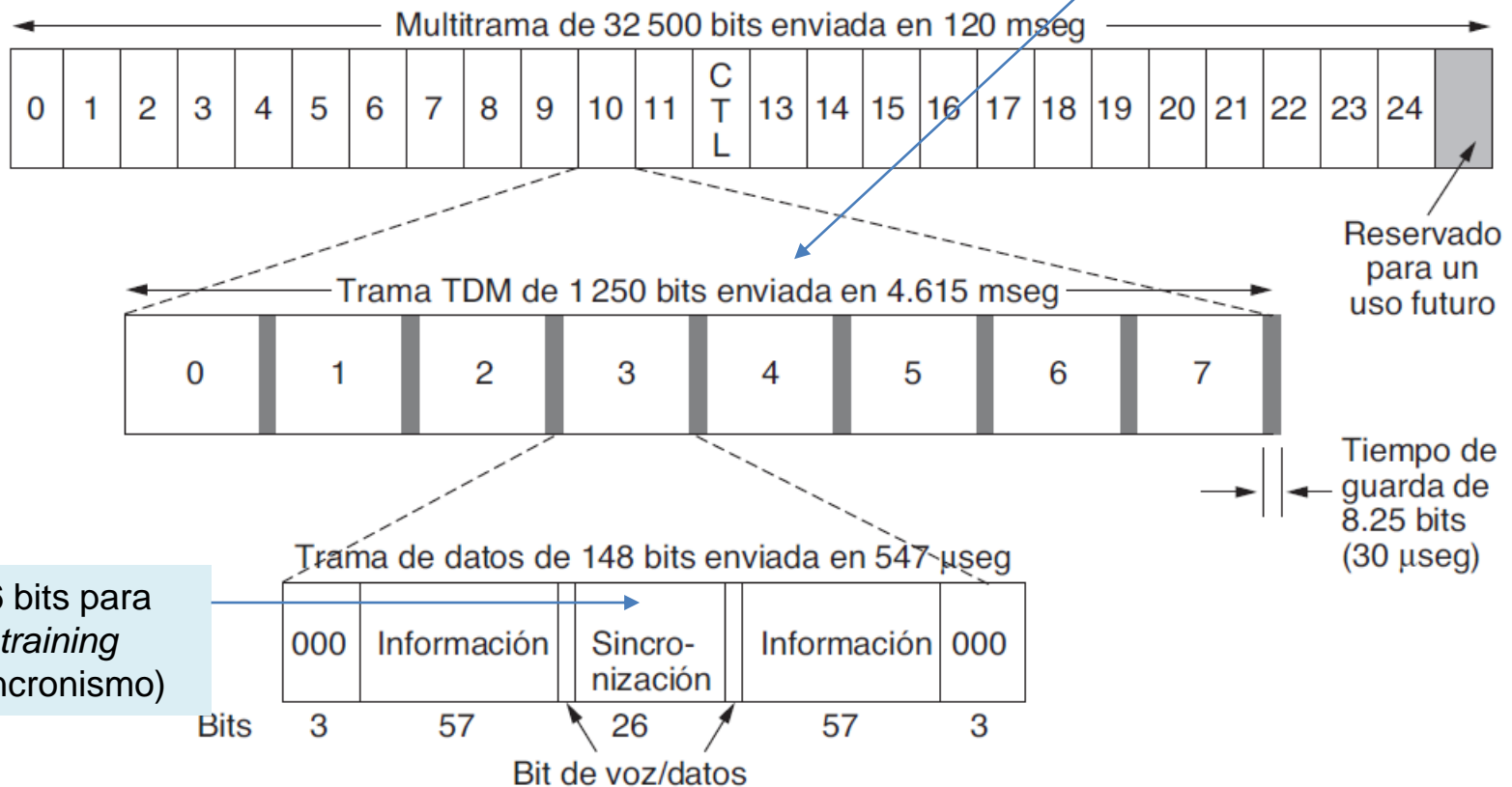


2G

- 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**



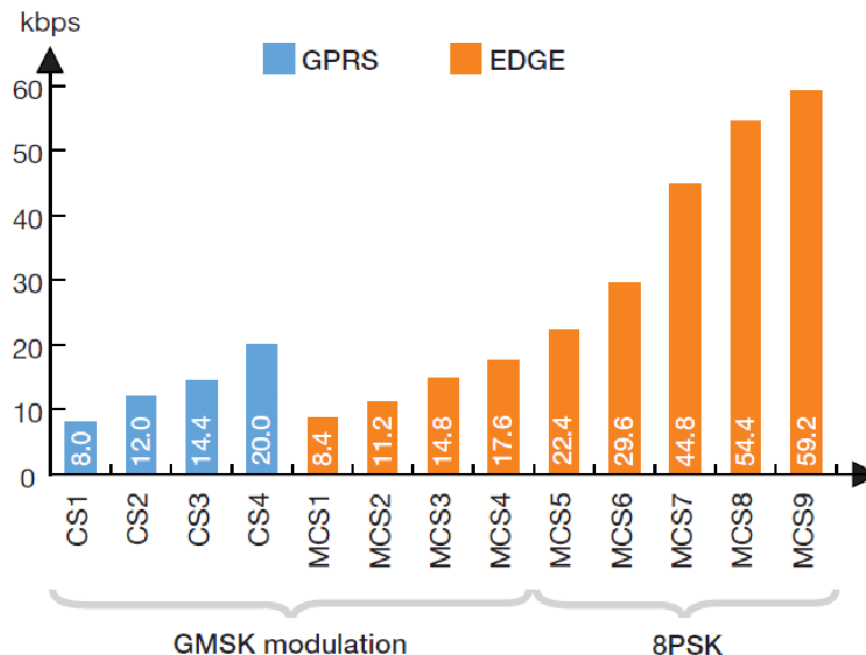
2G

- **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

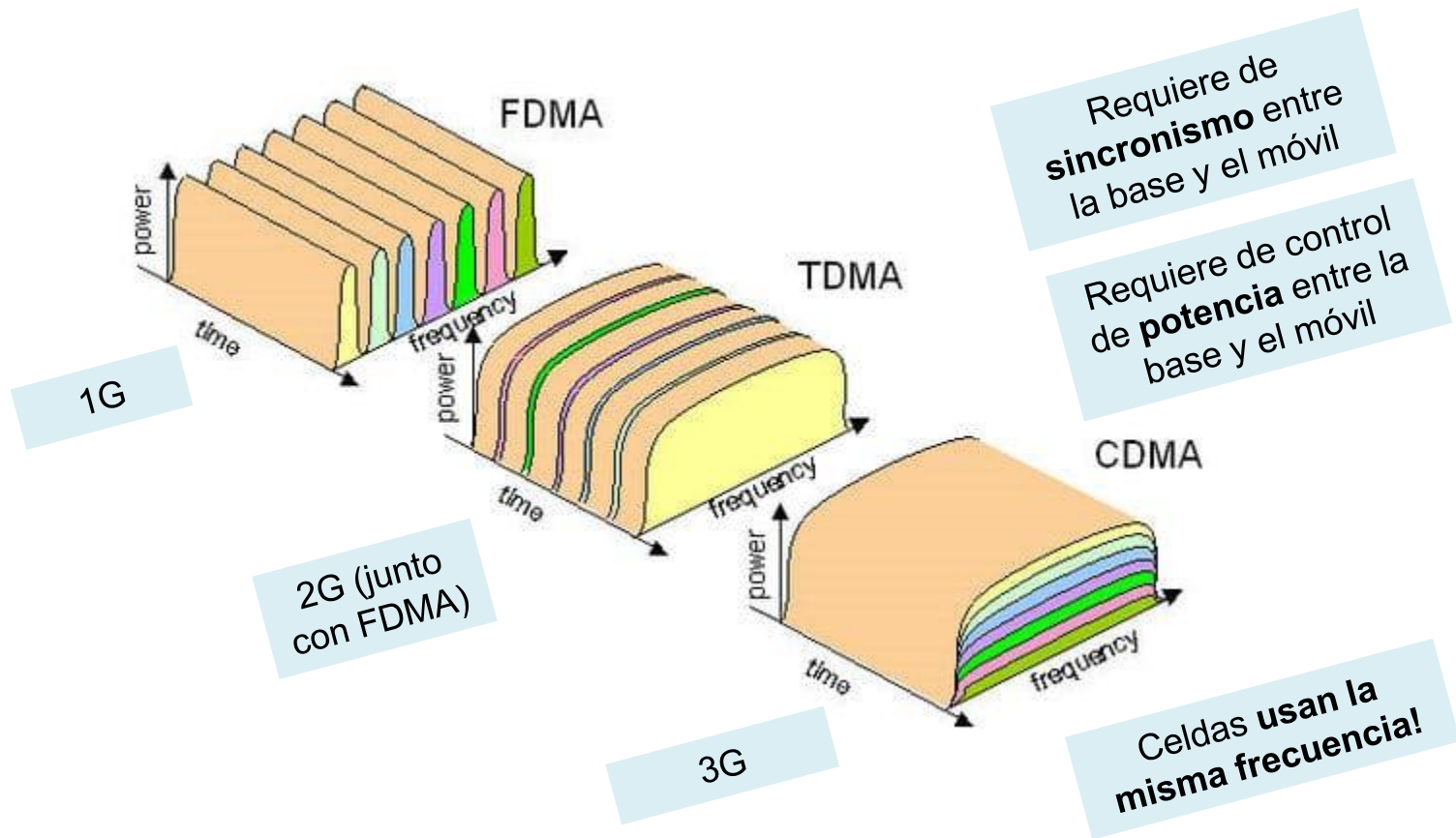
- Acceso a Internet (datos) propuesta por la ITU:
IMT-2000 (2000 = año, frecuencia, kbps)
 - **UMTS** (Universal Mobile Telecom. System)
→ Europa (Ericsson)
 - **CDMA2000** → EEUU (Qualcomm)
- CDMA no es FDM ni TDM...

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



3G

- **CDMA**: Acceso por división de código

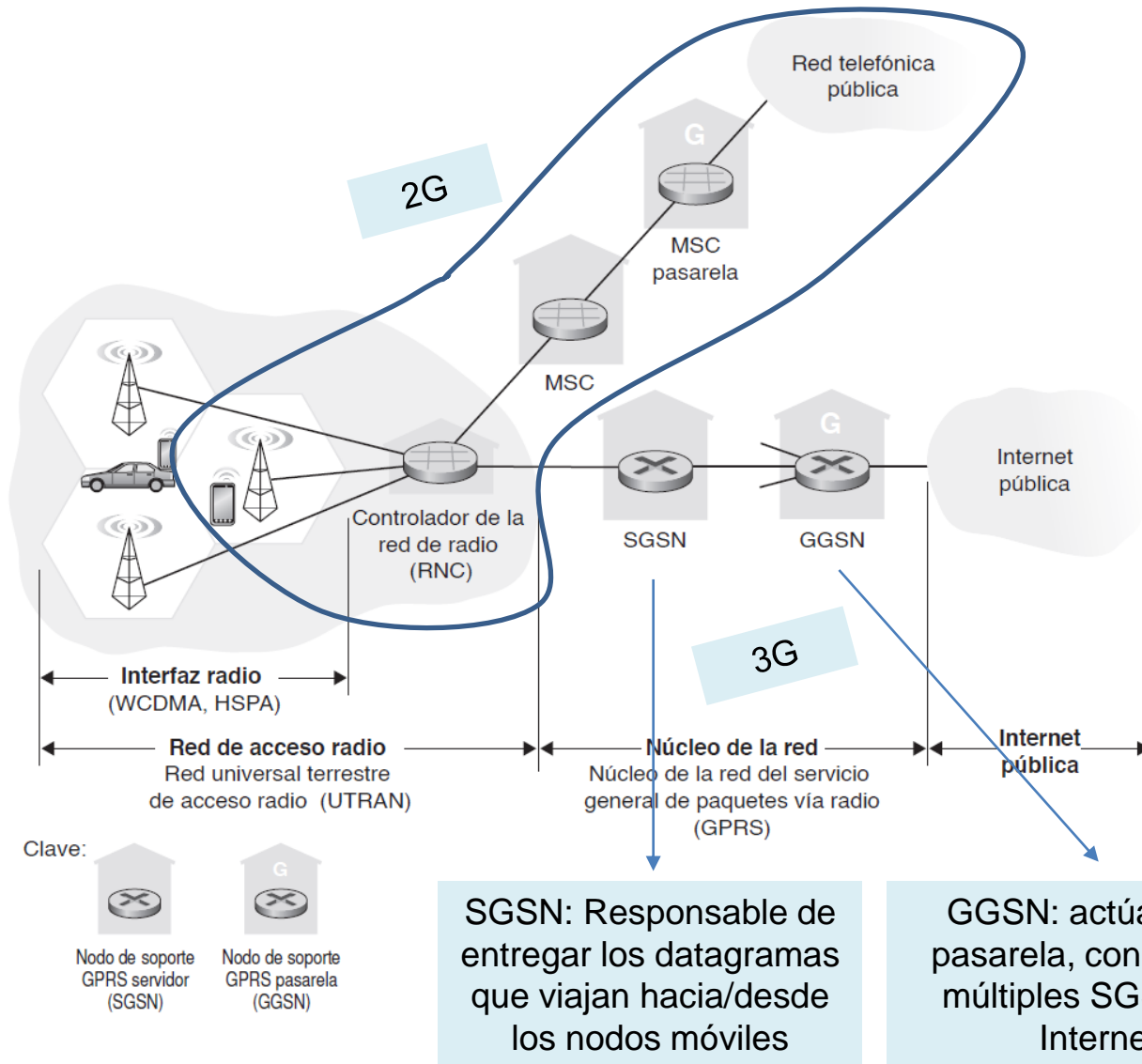


3G

- **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



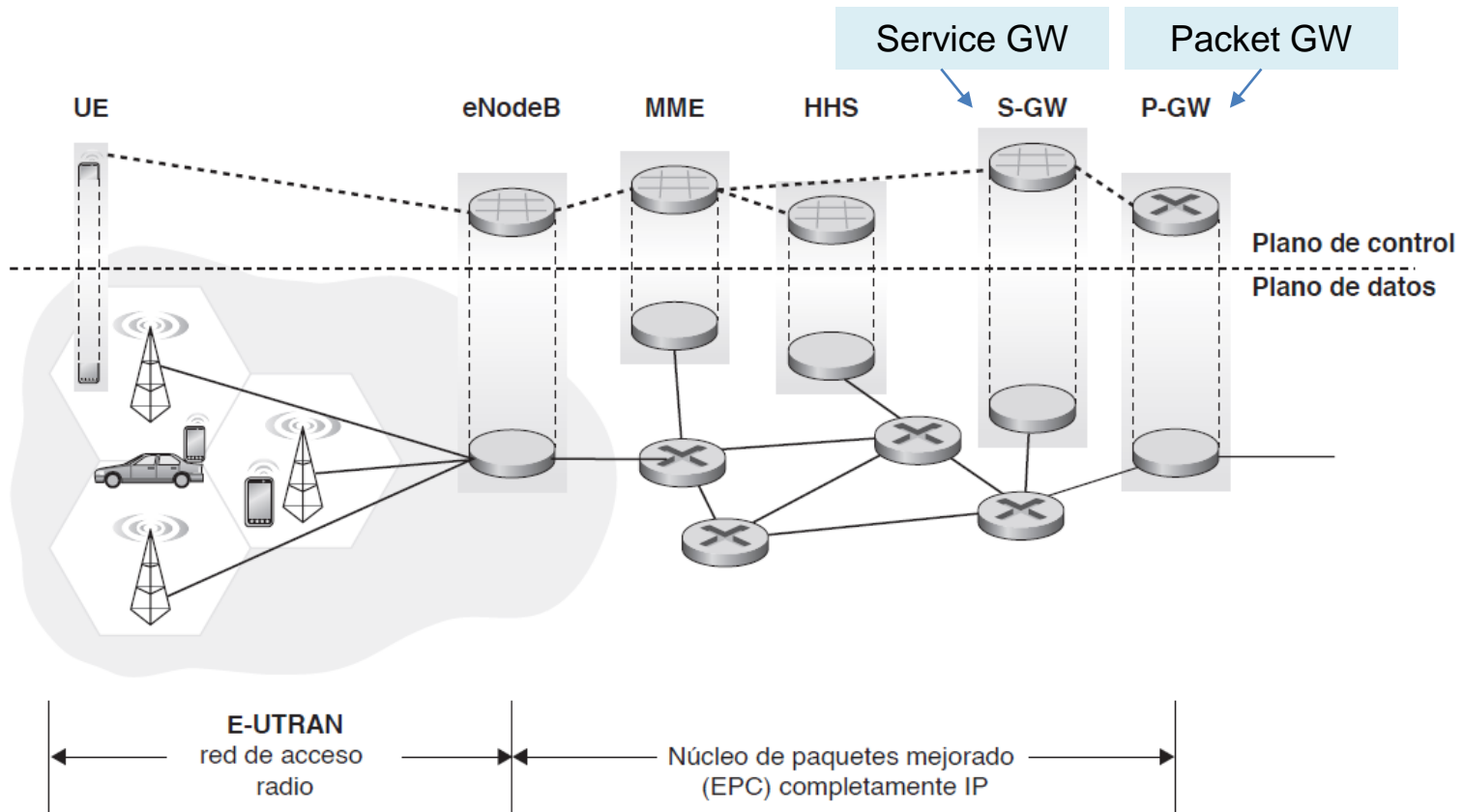
3G



4G

- **LTE:** Core y voz completamente sobre IP

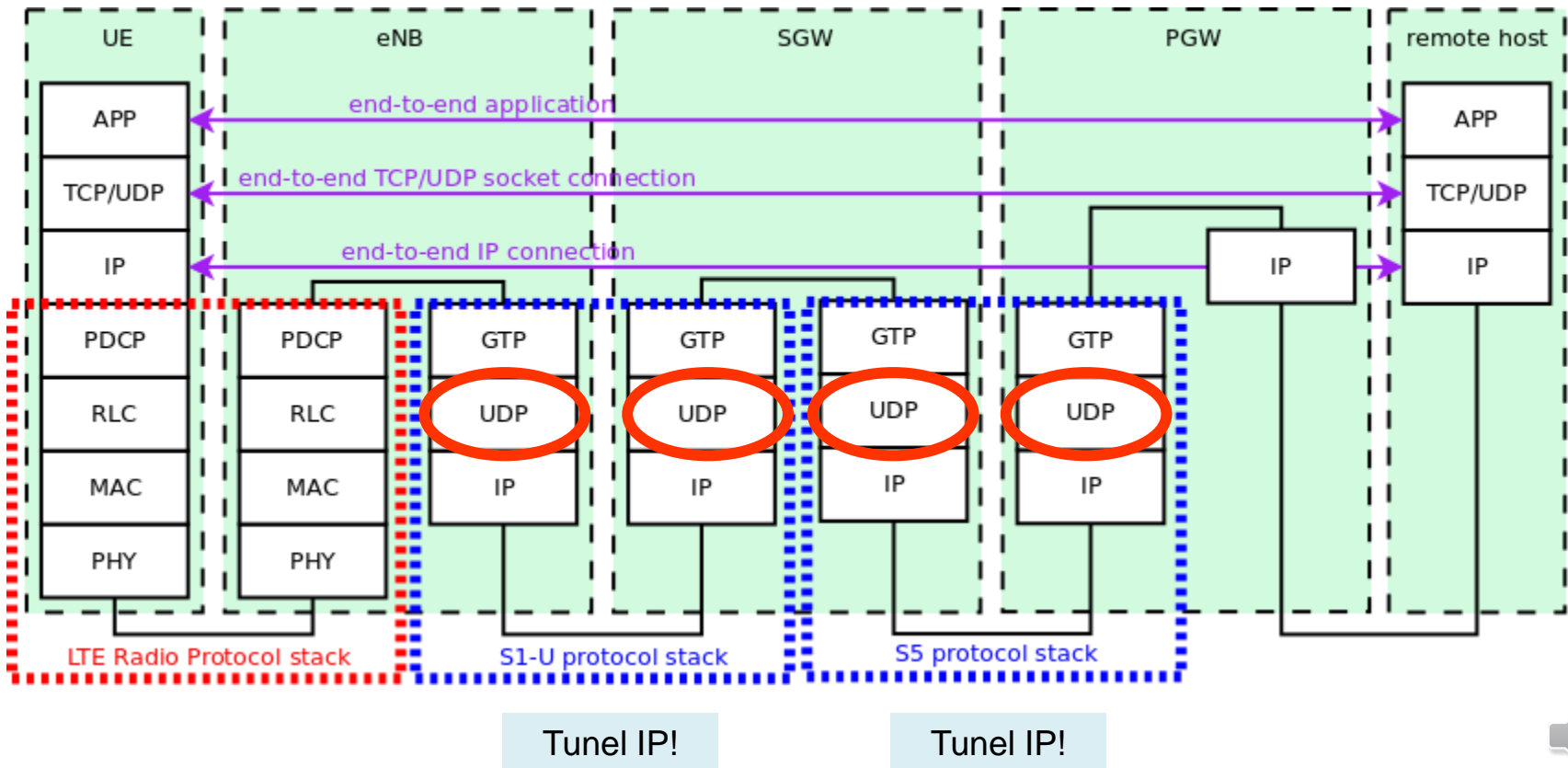
2014



4G

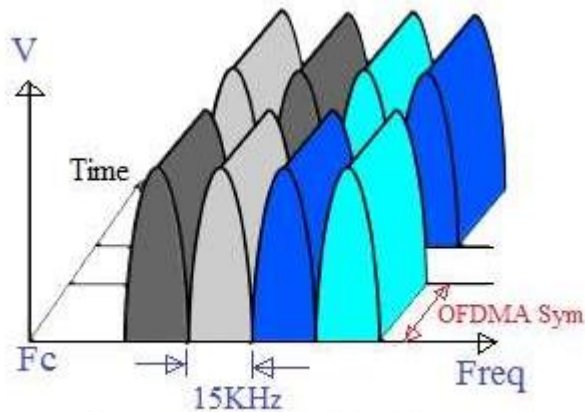
- **LTE:** Core y voz completamente sobre IP

2014

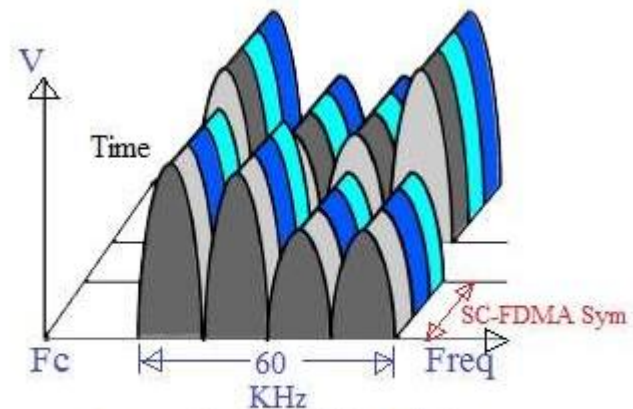


4G

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



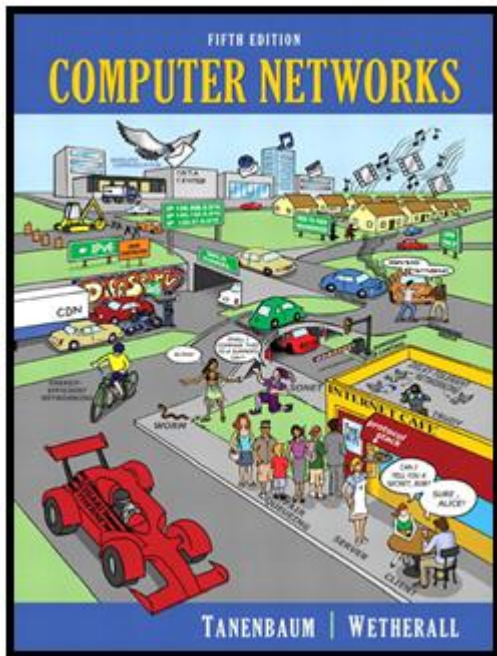
Transmitting using OFDMA



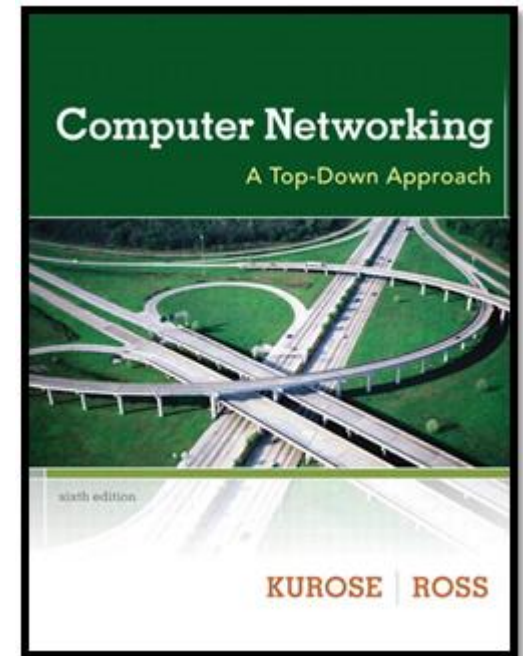
Transmitting using SC-FDMA



Gestión de Movilidad



Capítulo 2



Capítulo 7

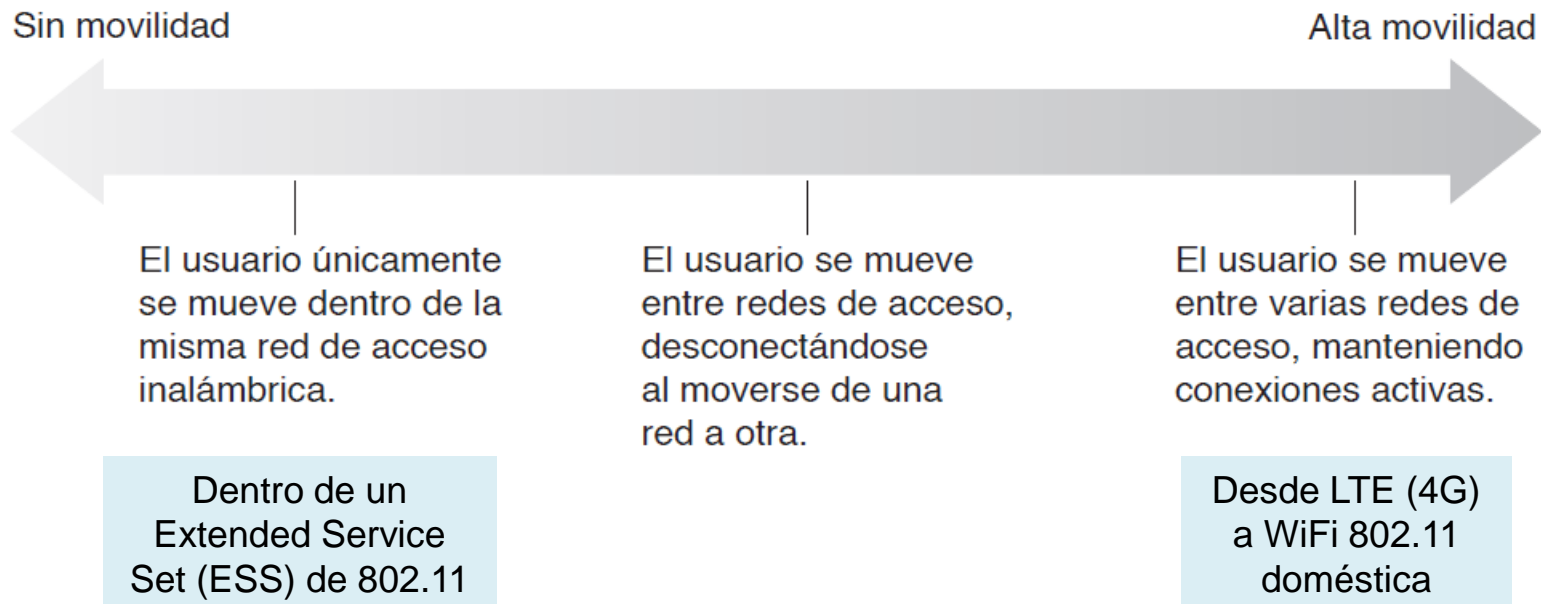
*2.7	El sistema de telefonía móvil	142
2.7.1	Teléfonos móviles de primera generación (1G): voz analógica	143
2.7.2	Teléfonos móviles de segunda generación (2G): voz digital	146
2.7.3	Teléfonos móviles de tercera generación (3G): voz y datos digitales	150

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!**

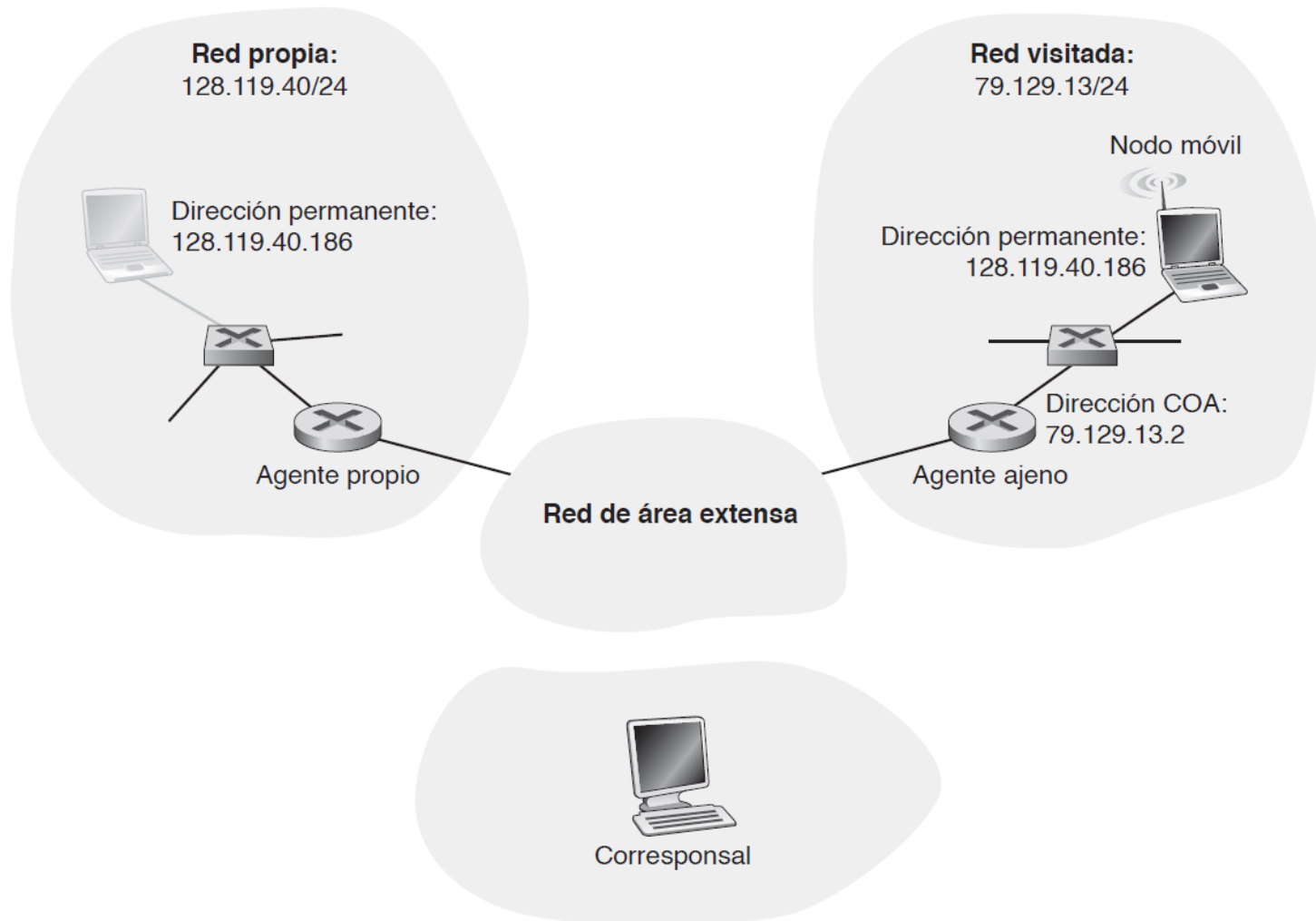


Gestión de Movilidad

- **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

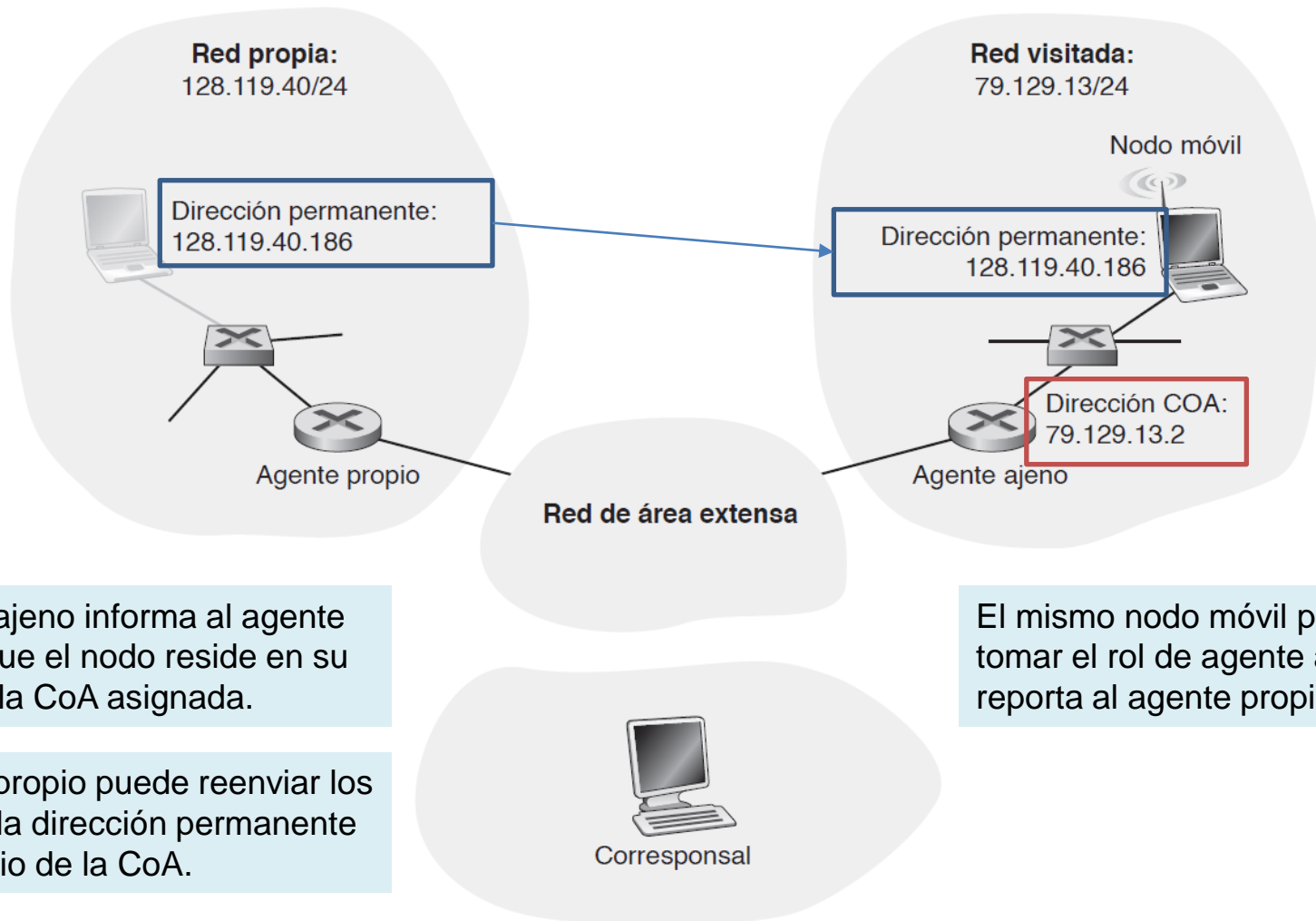


Gestión de Movilidad

- 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

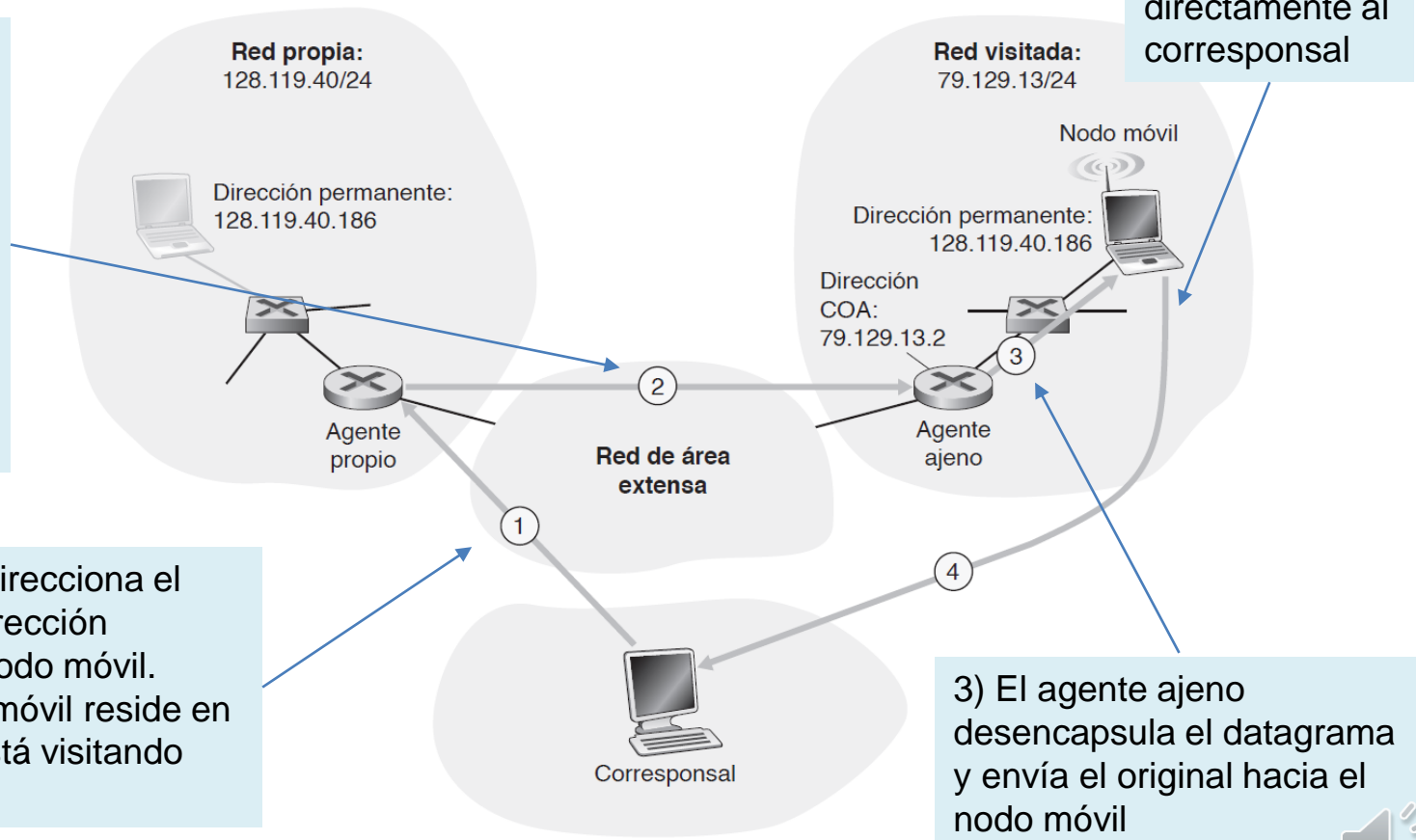


Gestión de Movilidad

- 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



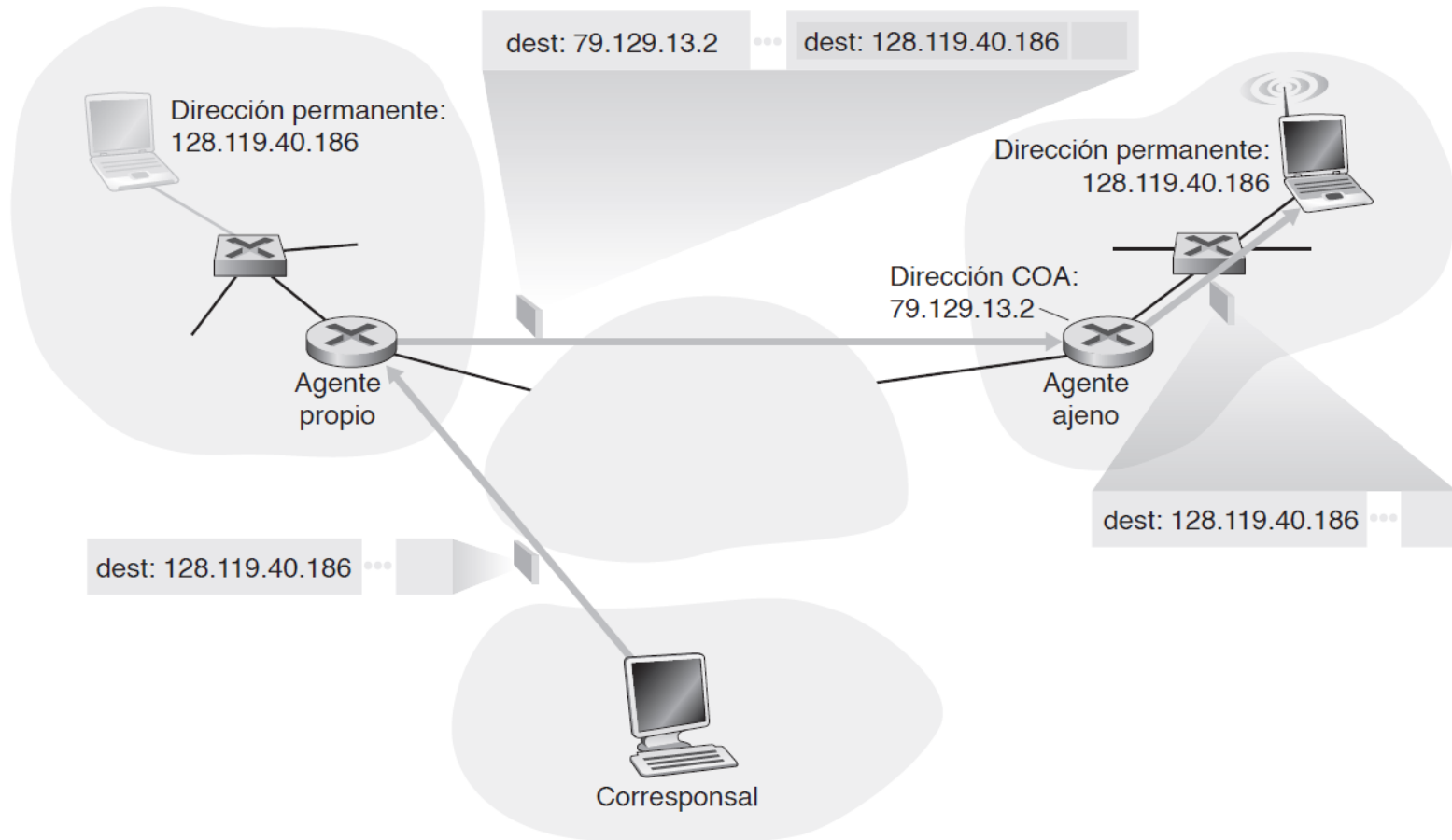
4) El nodo móvil puede dirigir sus datagramas directamente al correspondiente

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



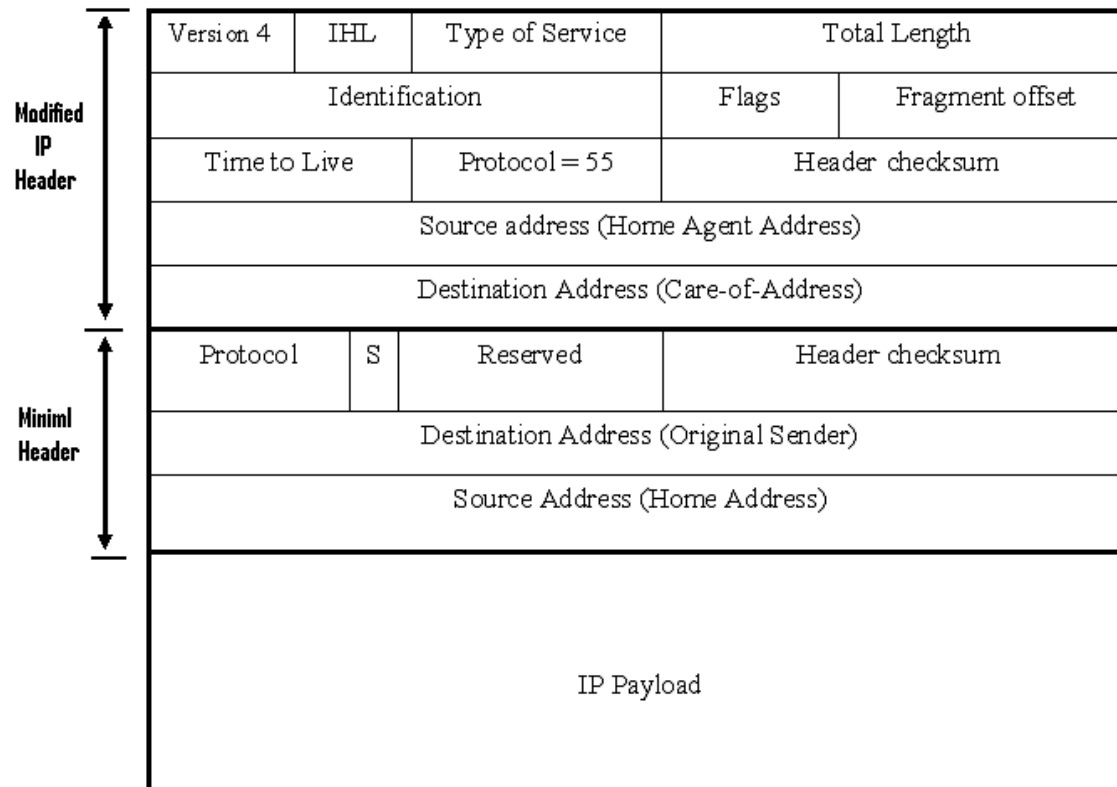
Gestión de Movilidad

- Enrutamiento indirecto (encapsulamiento)



Gestión de Movilidad

- Enrutamiento indirecto (encapsulamiento)



Gestión de Movilidad

- **Enrutamiento indirecto**

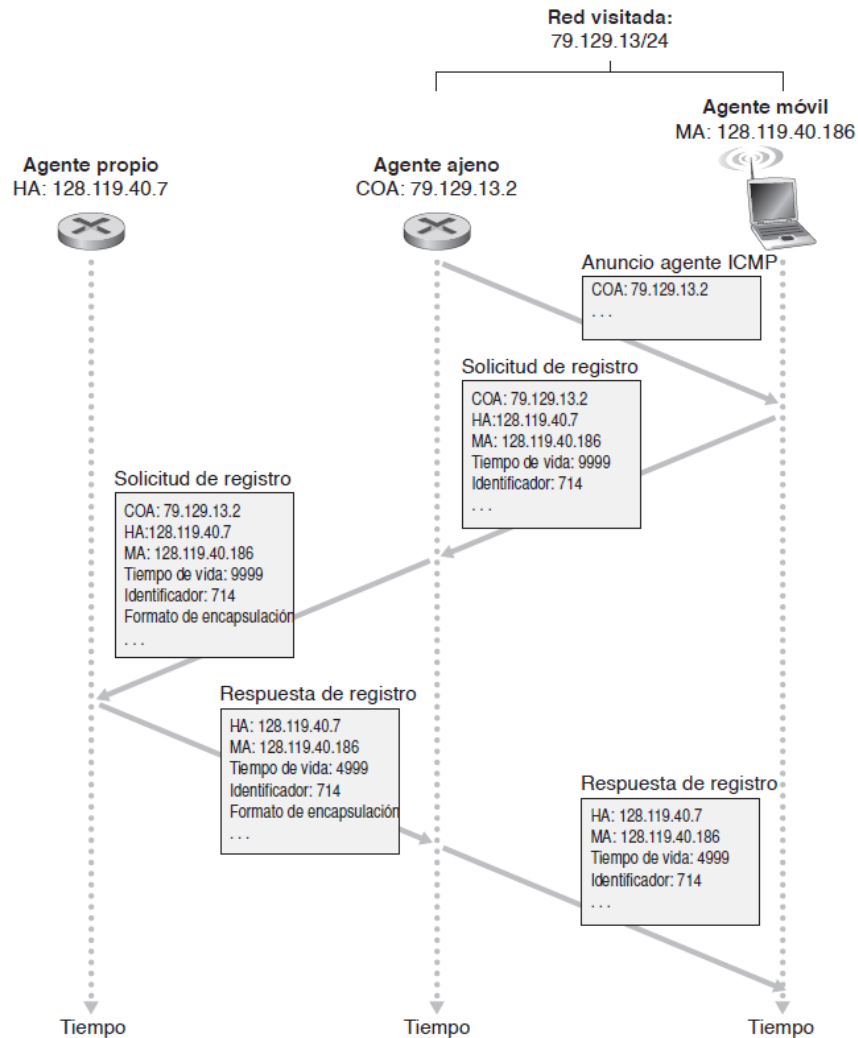
- Un nodo móvil pueda mantener una conexión activa mientras **se desplaza de una red a otra** (actualizan las CoA en el agente propio)
- En lo que a un correspondiente respecta, **la movilidad es transparente**
- Se pueden **perder unos pocos datagramas** en la transición (absorbido por recuperación 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

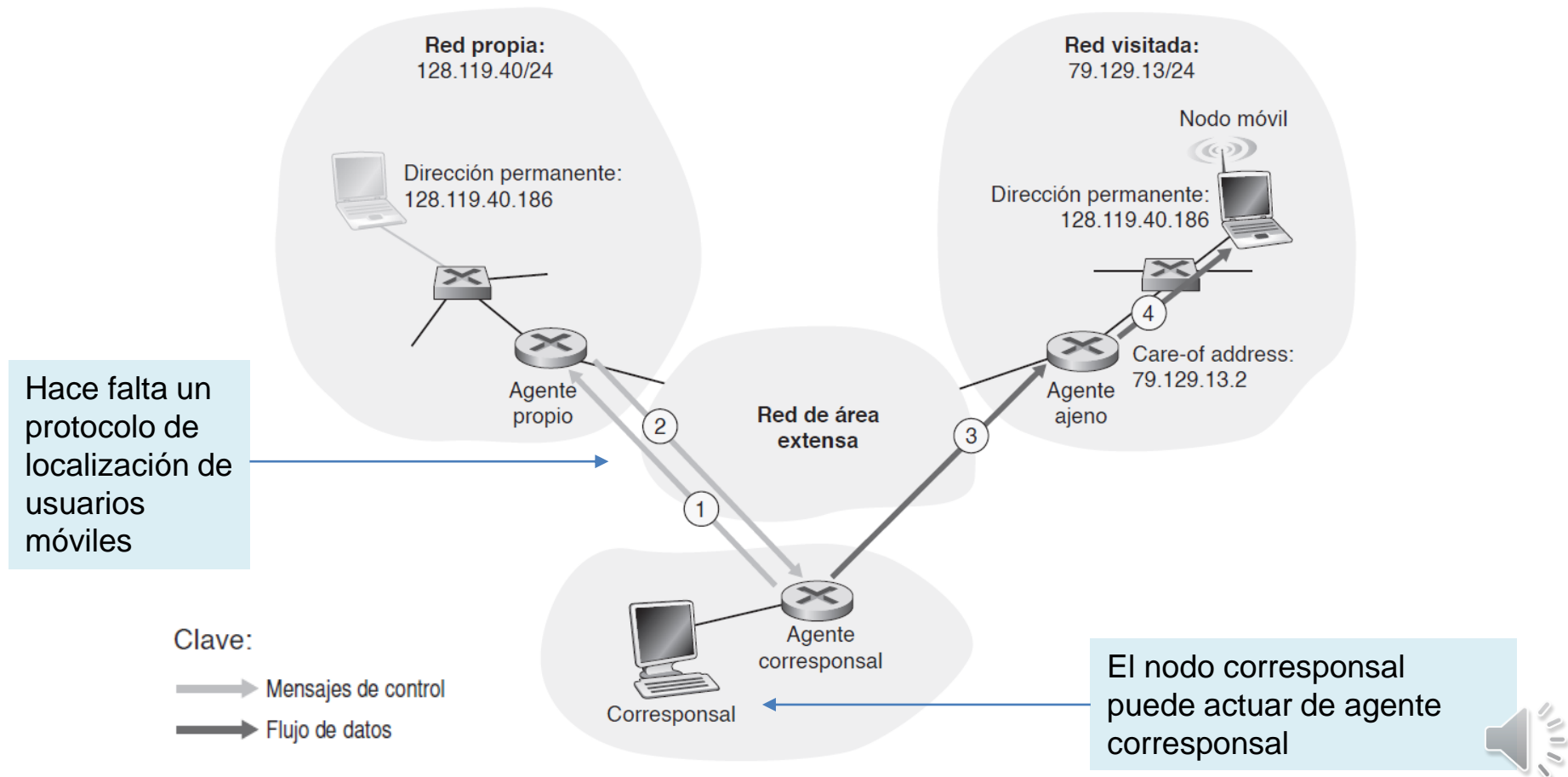
- **Enrutamiento directo**

- 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 **corresponsal determina primero la COA del nodo móvil**



Gestión de Movilidad

- Enrutamiento directo



Gestión de Movilidad

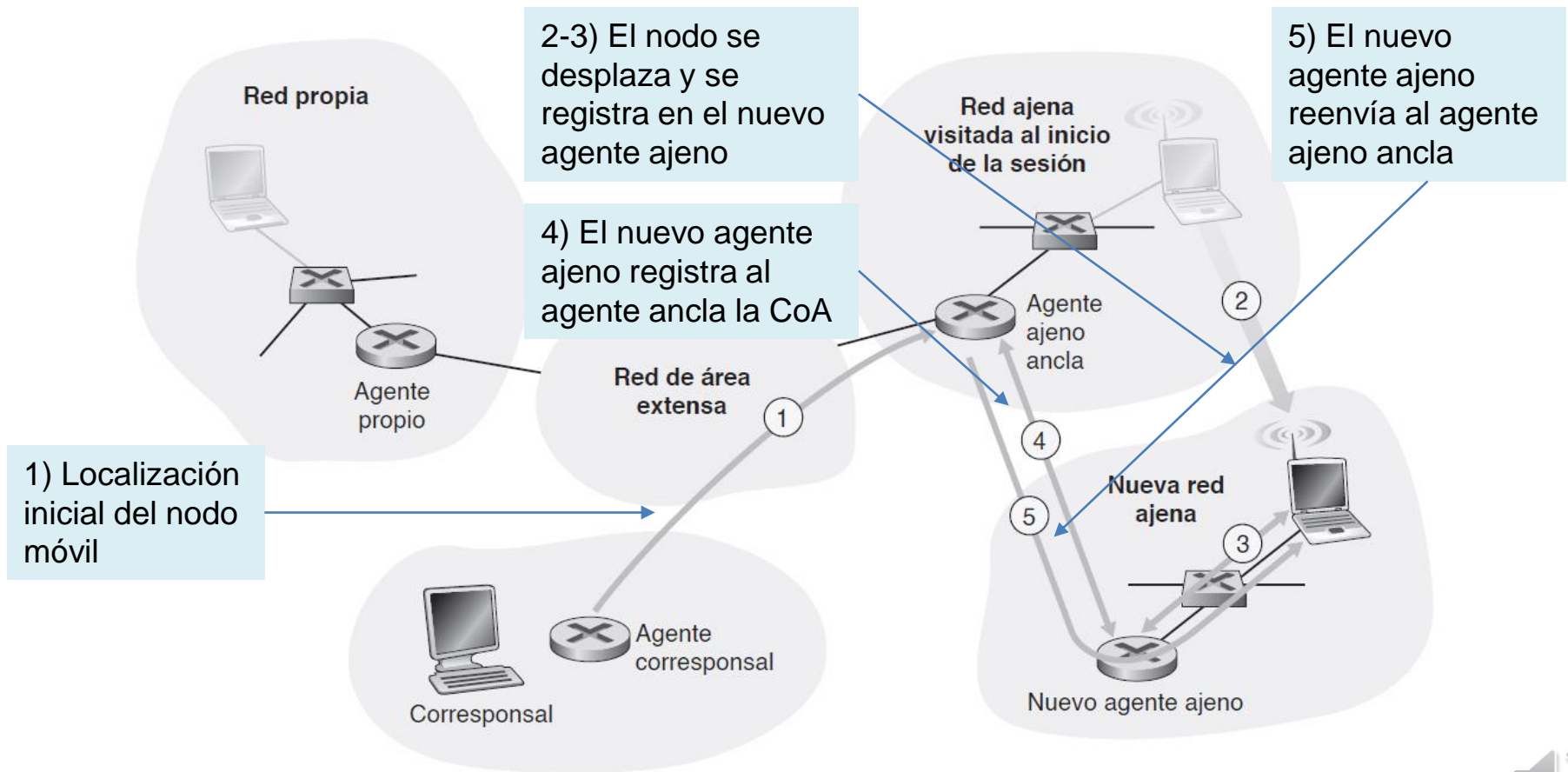
- **Enrutamiento directo**

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

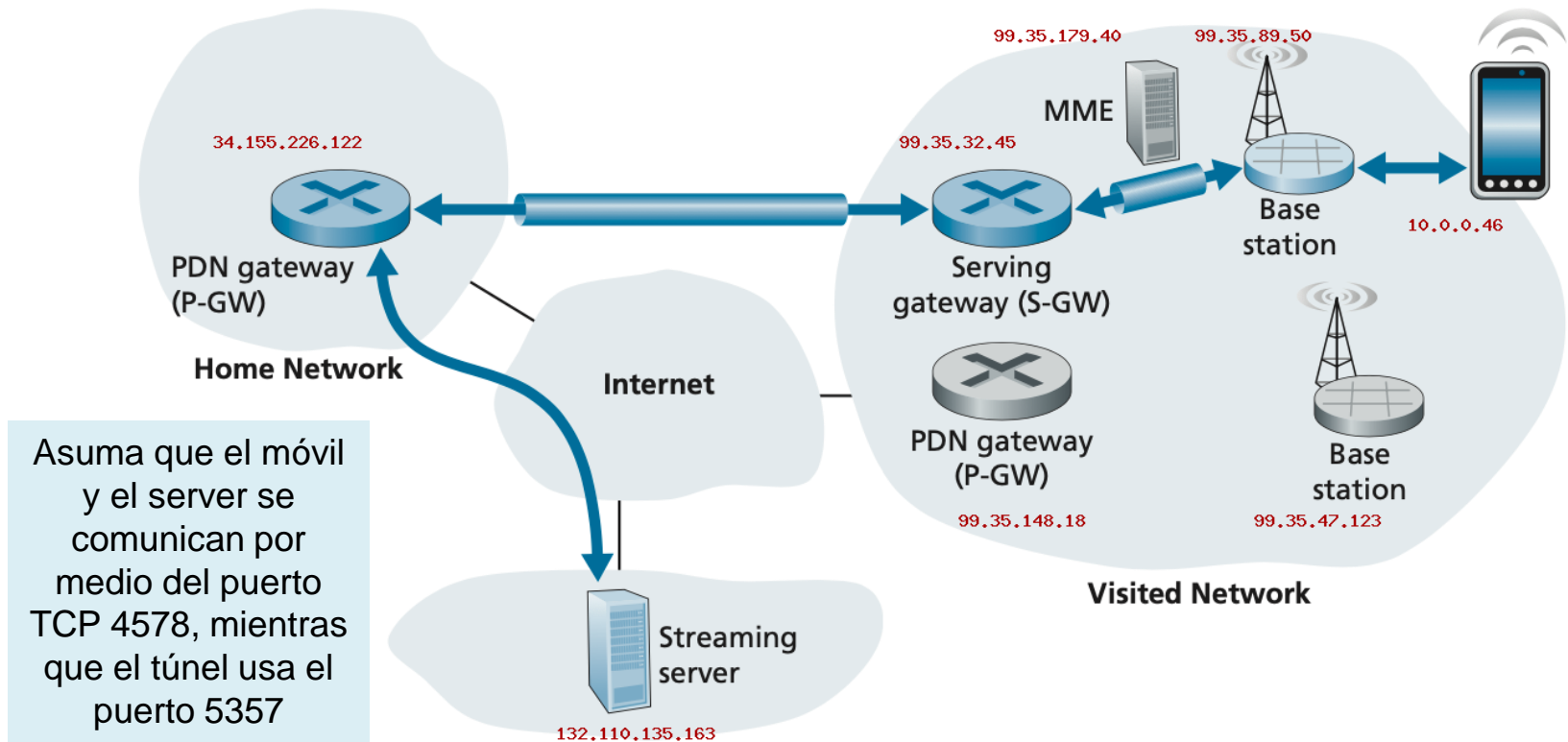


Gestión de Movilidad

- Enrutamiento directo



Gestión de Movilidad en 4G



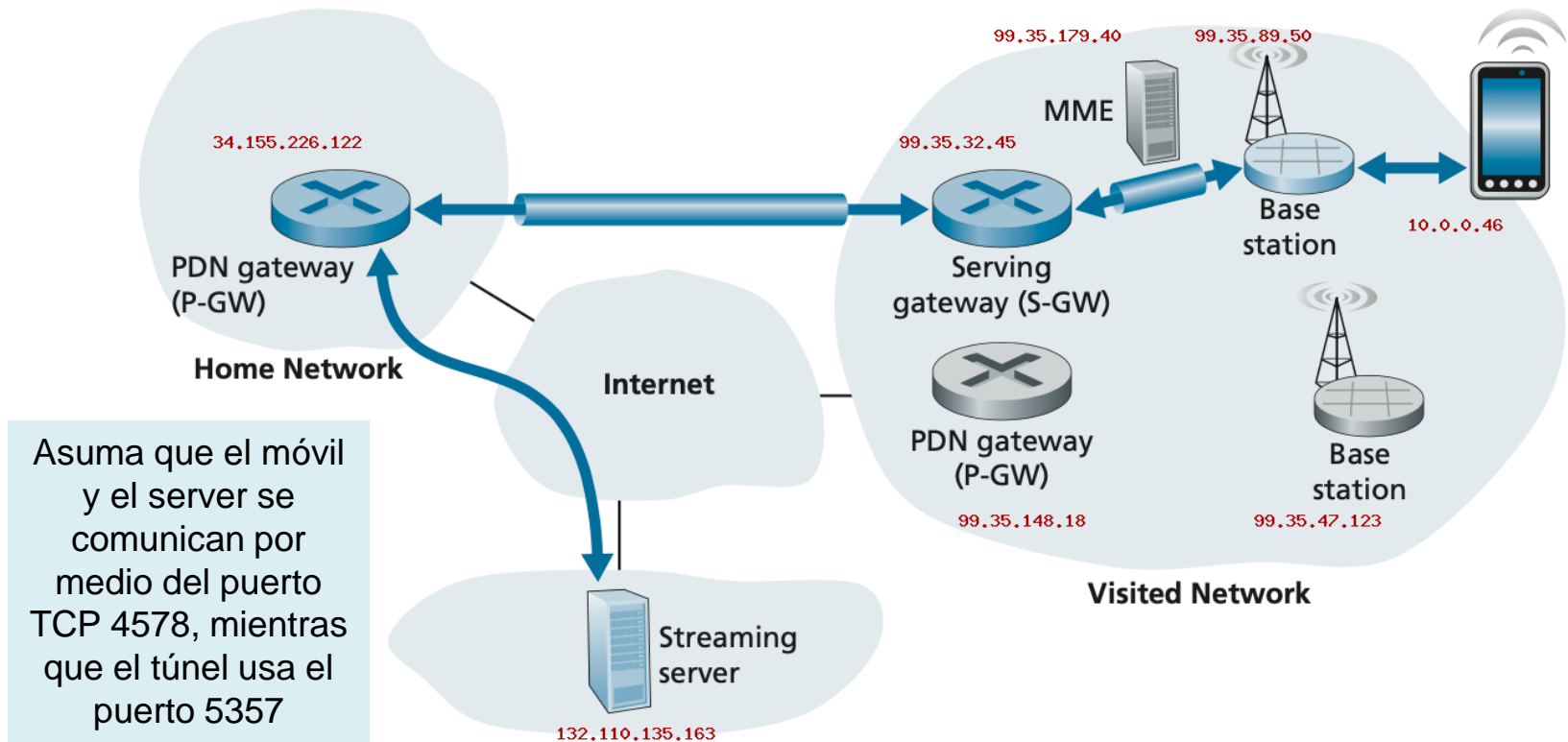
Asuma que el móvil y el server se comunican por medio del puerto TCP 4578, mientras que el túnel usa el puerto 5357

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

— 10.0.0.46



Gestión de Movilidad en 4G

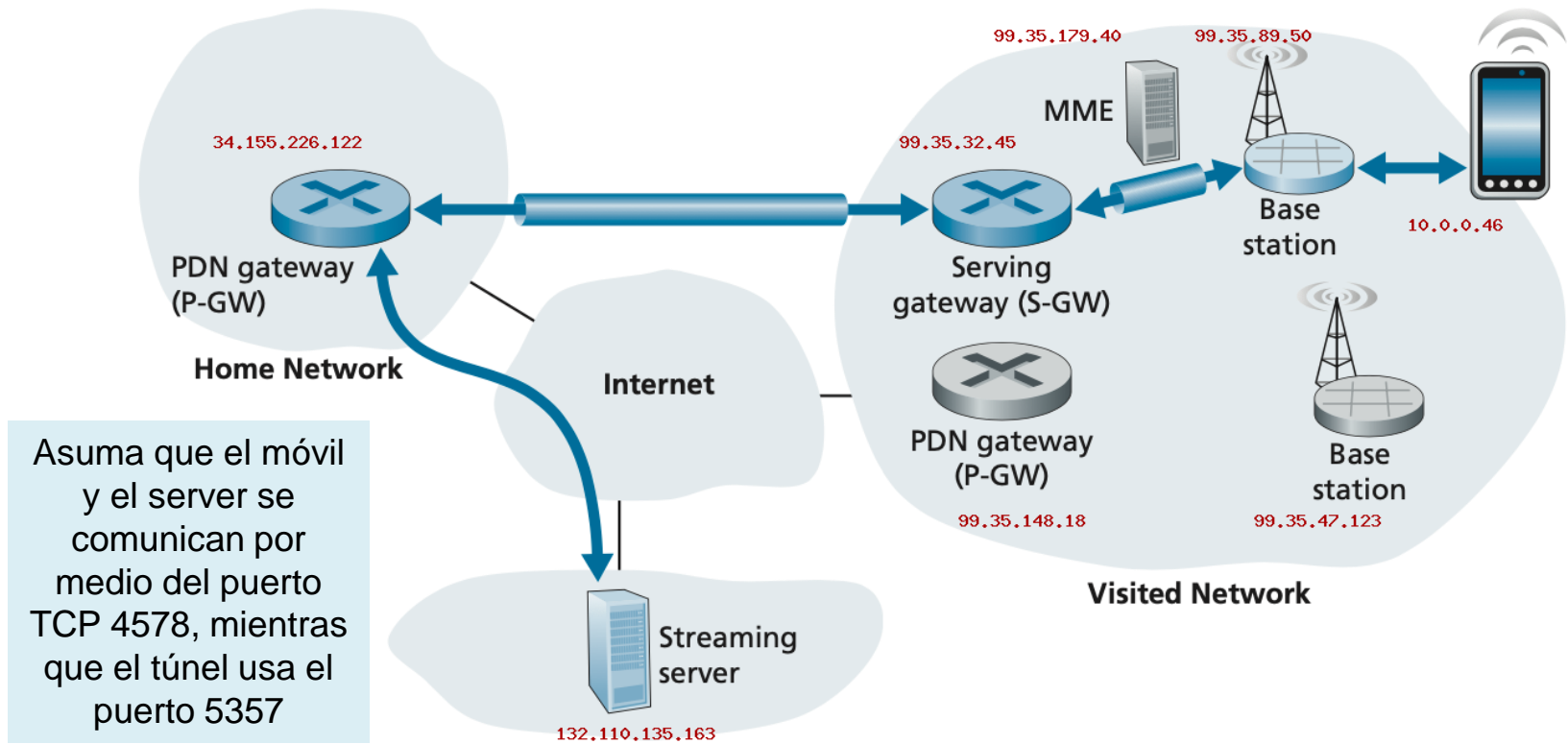


2)Cuál es la IP destino del datagrama enviado desde el móvil?

- 132.110.135.163



Gestión de Movilidad en 4G

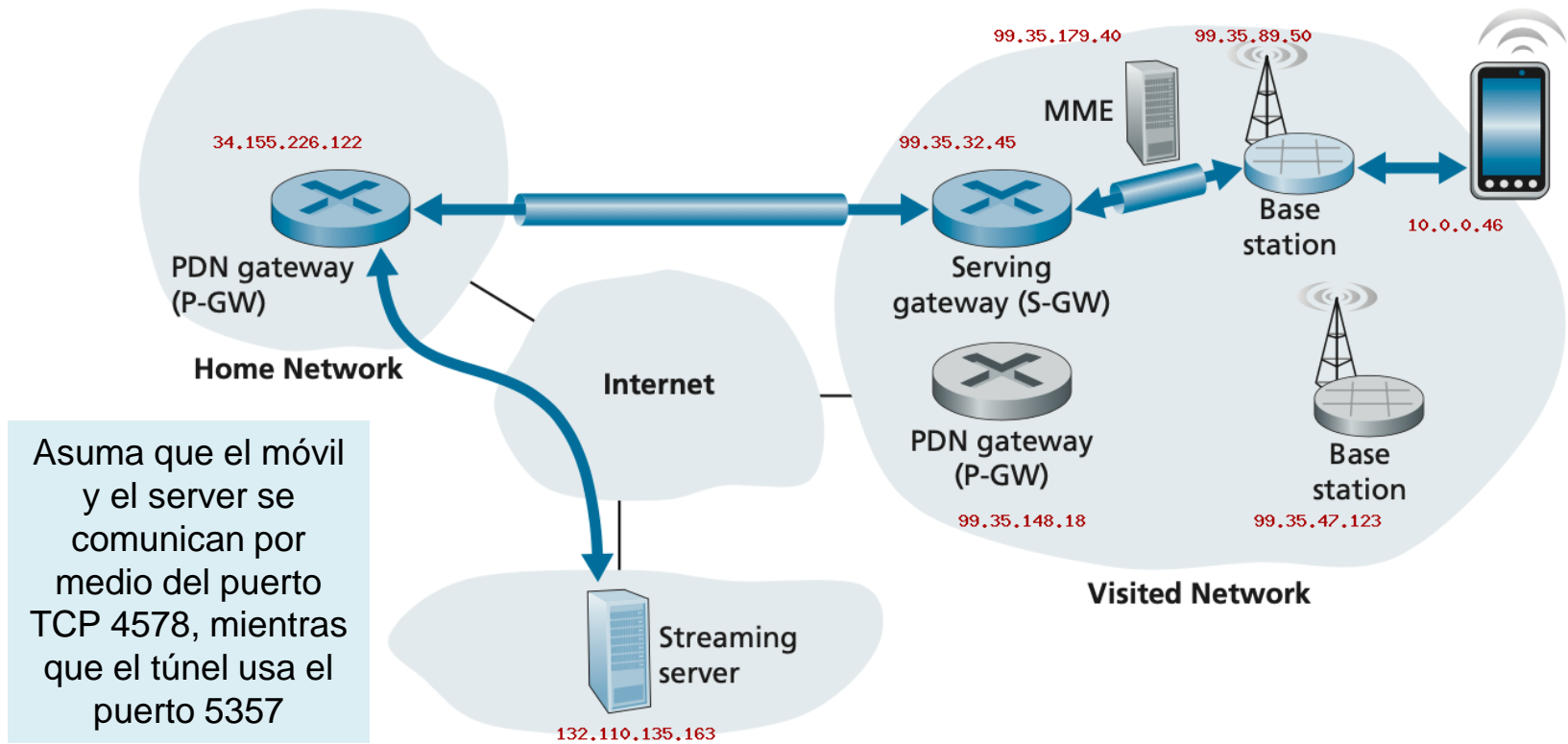


3)Cuál es el # puerto del datagrama enviado desde el móvil?

— 4578



Gestión de Movilidad en 4G

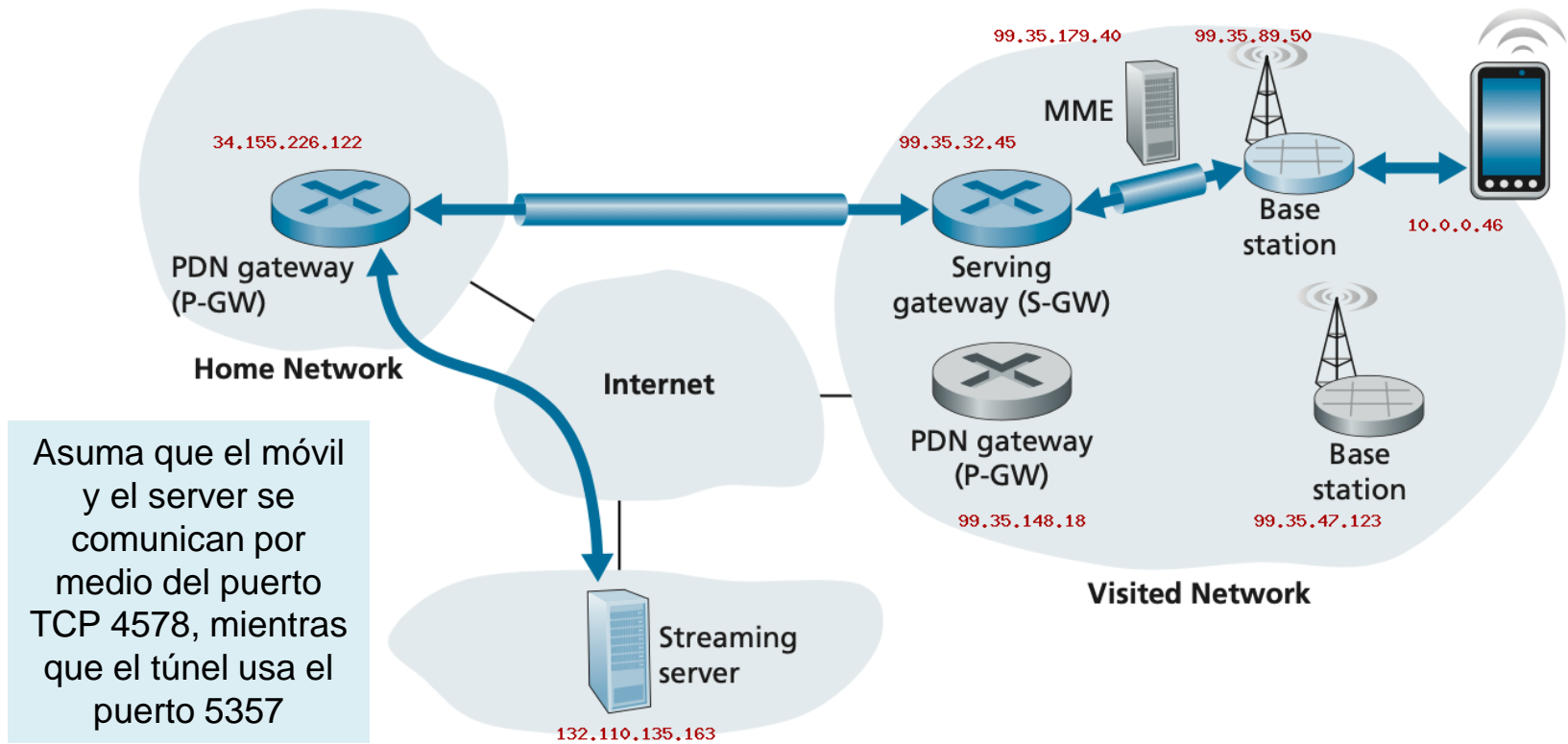


4) Hay un datagrama encapsulado enviado desde el móvil?

— No



Gestión de Movilidad en 4G



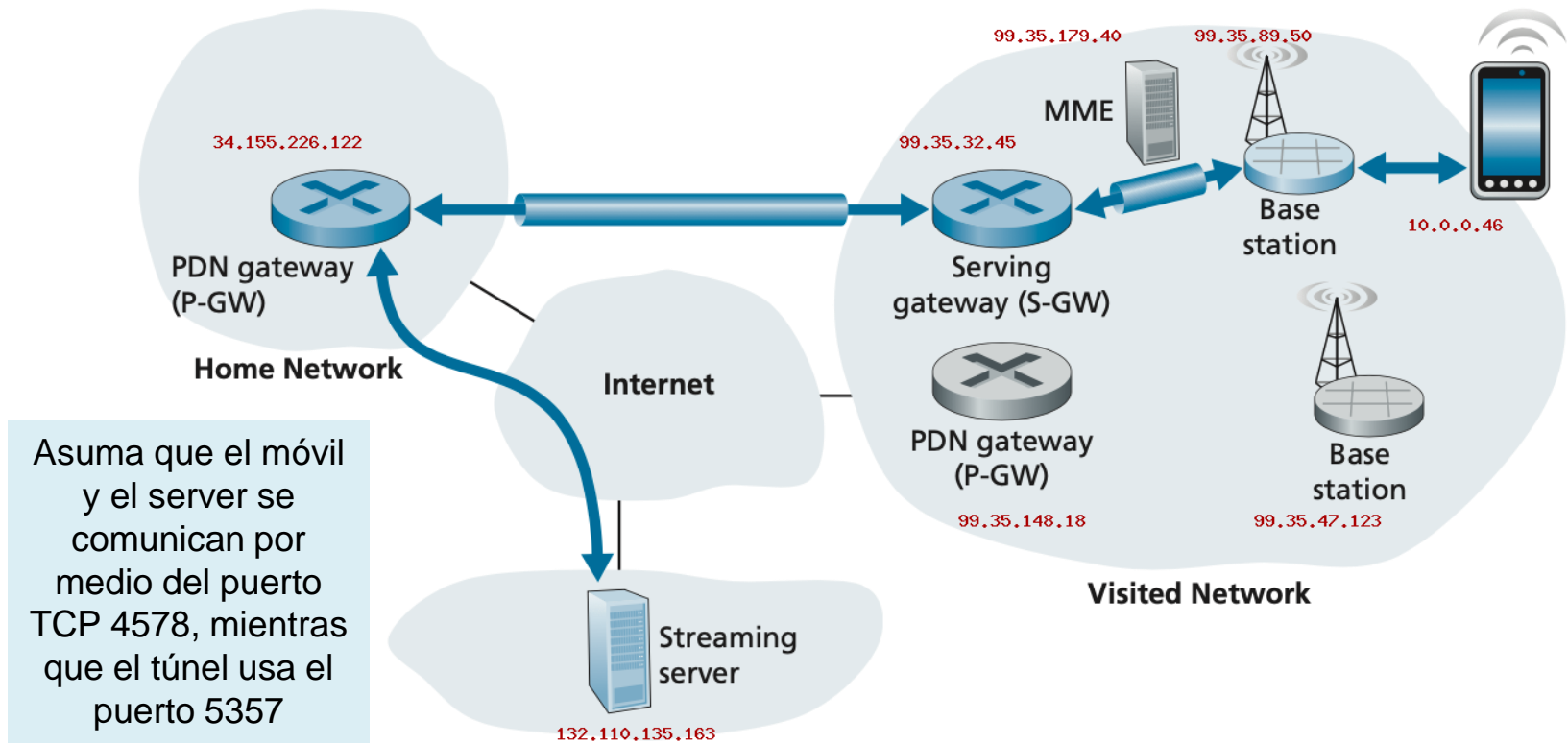
5) Cual es el IP origen del datagrama entre la BS y S-GW?

— 99.35.89.50

El túnel IP
en 4G!



Gestión de Movilidad en 4G



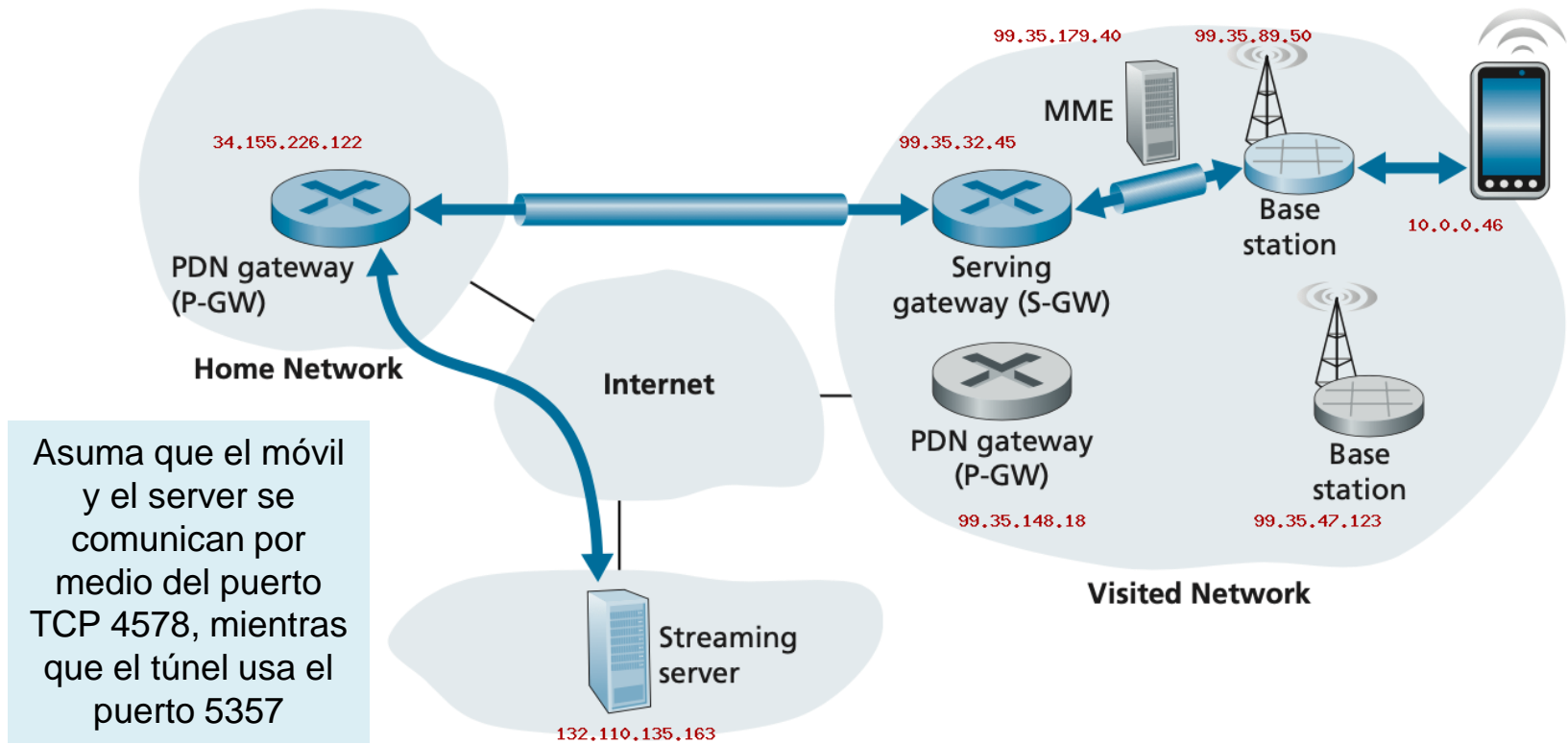
6) Cual es el IP destino del datagrama entre la BS y S-GW?

— 99.35.32.45

El túnel IP
en 4G!



Gestión de Movilidad en 4G



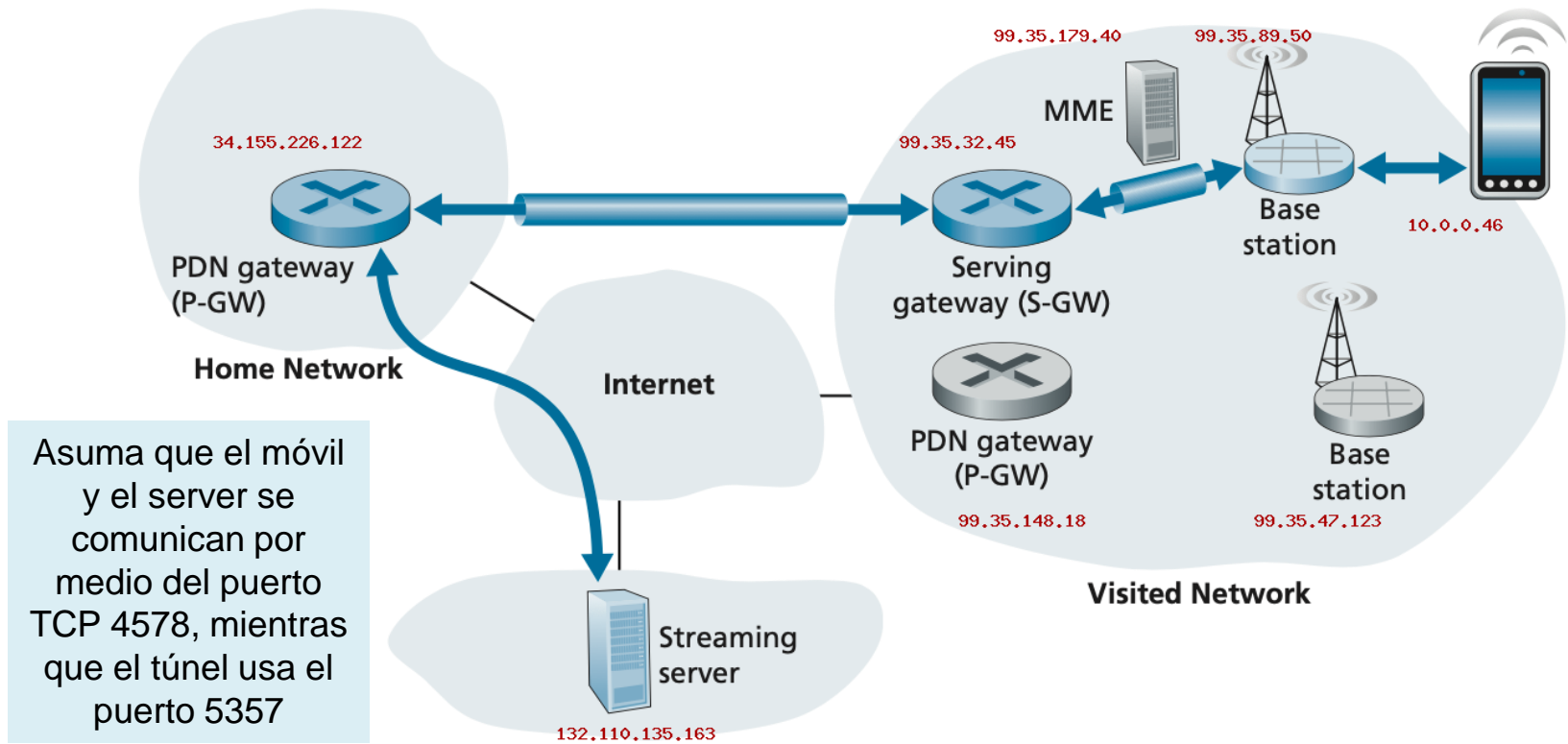
7)Cuál es el # puerto del datagrama entre la BS y S-GW?

— 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

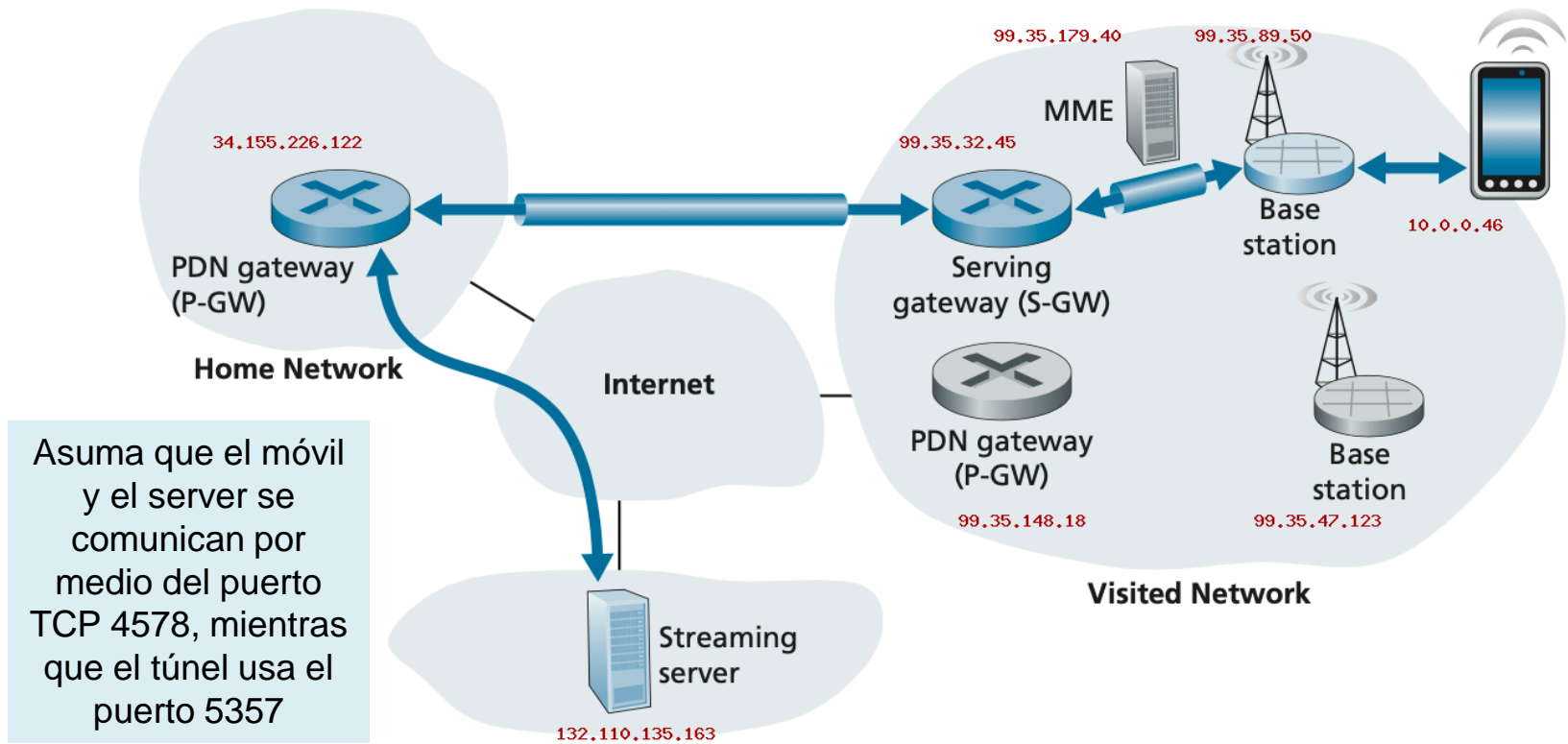
8)Cuál es el protocolo de transporte entre la BS y el S-GW?

— 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

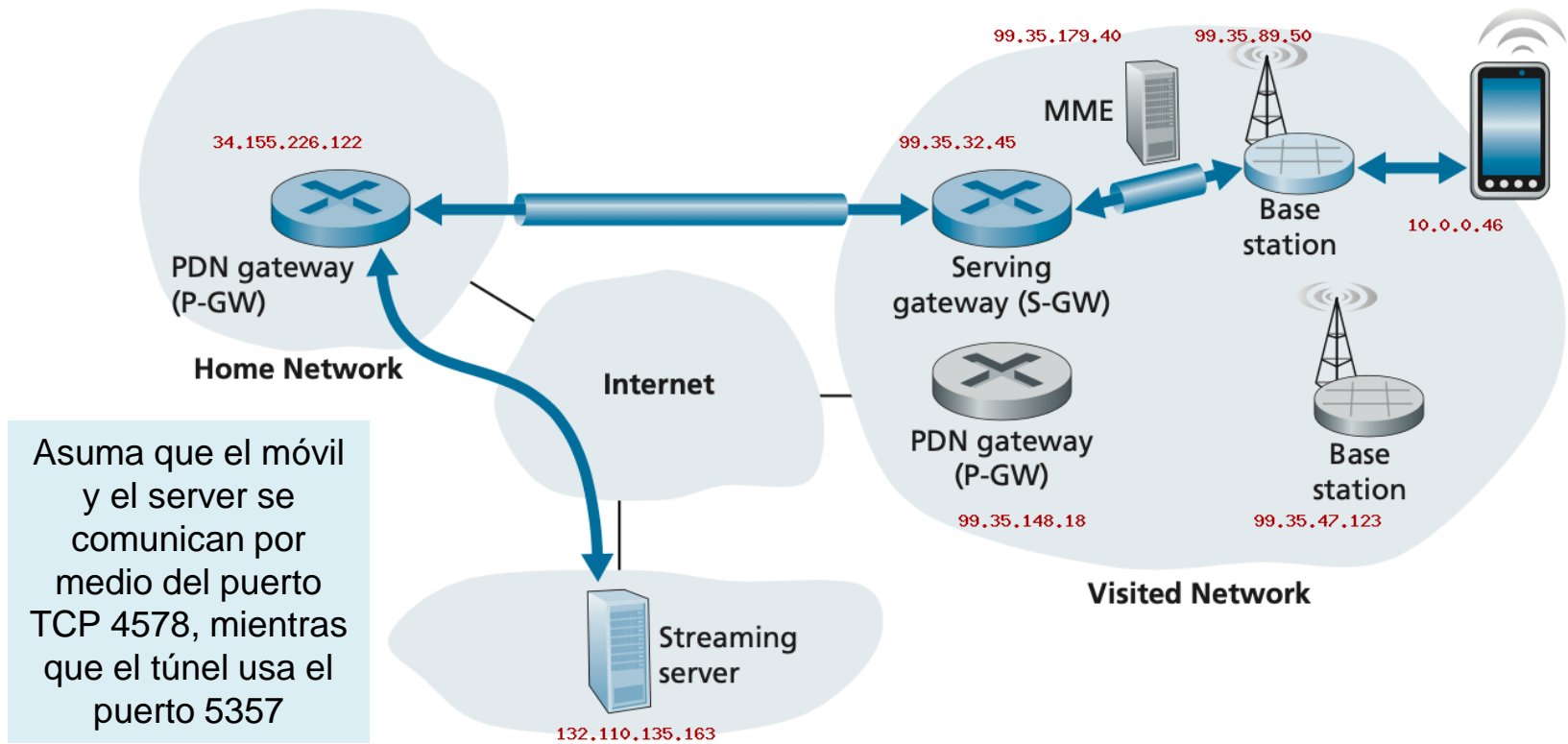
9)Cuál es la dirección origen del datagrama encapsulado entre BS y S-GW?

— 10.0.0.46

El túnel IP
en 4G!



Gestión de Movilidad en 4G



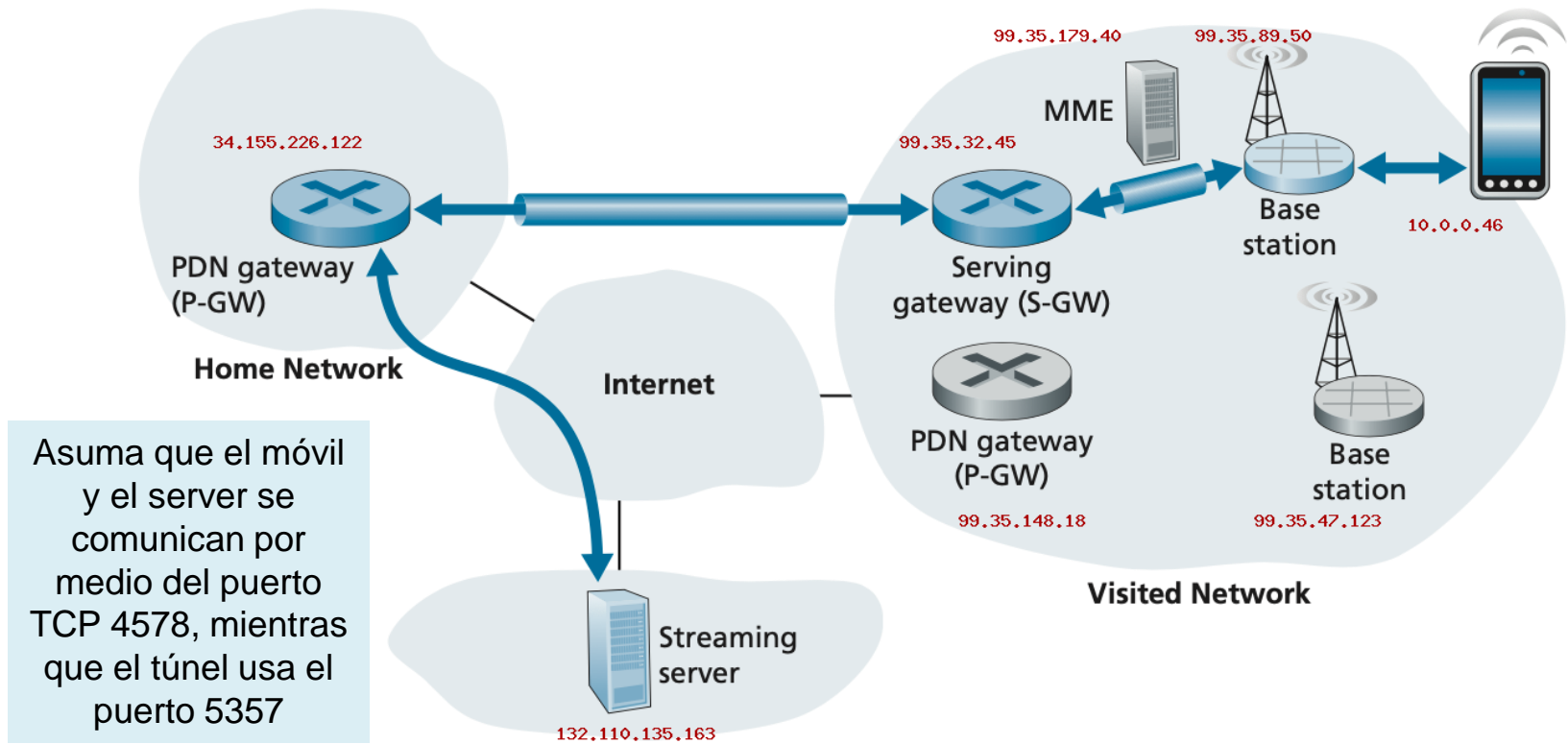
10)Cuál es la dirección destino del datagrama encapsulado entre BS y S-GW?

- 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 **penalidades** 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

