



# ***Capítol 4. Xarxes d'accés***

4.1 Parell de courre

4.2 Cable coaxial

4.3 Fibra òptica

4.5 Mòbils



El parell de coure es va crear per a ser utilitzar per al canal vocal (no per dades)

canal vocal --> 300 - 3400 Hz      modulat

amb relacions senyal/soroll de 30db arribem a 54 kbps

## 4.1 Parell de coure

llinia analògica de telefon

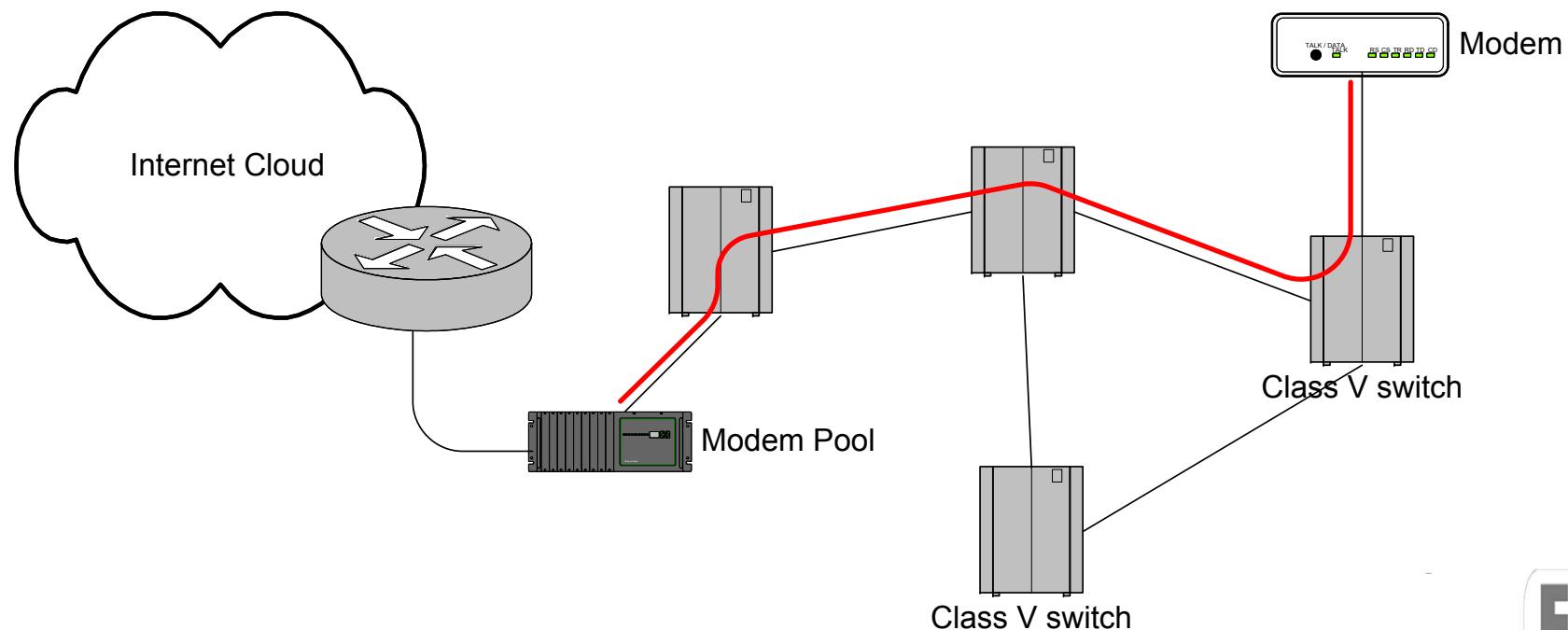
El que passa amb la línia telefònica és que es fa una trucada, però en comptes de veu s'envien 0s i 1s fent servir modems.

Tots els ISPs tenen algunes línies d'aquest tipus.  
quin protocol es fa servir a nivell 2? un ppp HDLC

## Analog Dial-up line

- 2.4 / 4.8 / 9.6 / 14.4 / 28.8 / 56 Kbps
- Uses one voice channel to reach ISP's modem across telephone network
- Analog from user to Central office, then digital
- Charged per minute

El problema d'això és que 56kbps dóna per molt poc, es fa servir per exemple, pels datàfons ja que no necessita gaire ample de banda. o el fax  
avantatge: qualsevol línia de telèfon ens serveix (les normals, una VoIP no serviria)



# Modem V.90

- Duplex mode of operation over the public switched telephone network (PSTN) and switched digital networks.
- Use of echo cancellation techniques for channel separation.
- PCM modulation downstream at a symbol rate of 8 k and V.34 modulation upstream.  
utilitza PCM per digitalitzar un senyal analogic
- Synchronous channel data signaling rates downstream from 28 Kbps to 56 Kbps in increments of 1.3 Kbps and upstream from 4.8 Kbps to 33.6 Kbps in increments of 2.4 Kbps.
- The modems utilize adaptive techniques to achieve as close as possible to the maximum data signaling rates supported by the channel on each connection.
- If a connection does not support V.90 the modem falls back to full duplex V.34 operation.
- During modem start-up, the data signaling rate is established by the exchange of rate sequences.
- V.32bis auto mode procedures and Group 3 facsimile machines support Automodding to V.Series modems.
- V.8 and, optionally, V.8bis procedures are utilized during modem start-up or selection.

el canal vocal és molt limitat, però el fil del telèfon no tant, tot i que el canal vocal va fins a 3400 Hz, es poden fer servir freqüències més altes (40Khz - 2 Mhz), igualment la velocitat està limitada per shannon (la velocitat depen de l'ample de banda i la relació senyal/soroll)  
--> En la actualitat s'arriba fins a 30 Mbps (però també depèn molt de la distància, +dist=+atenuacio)

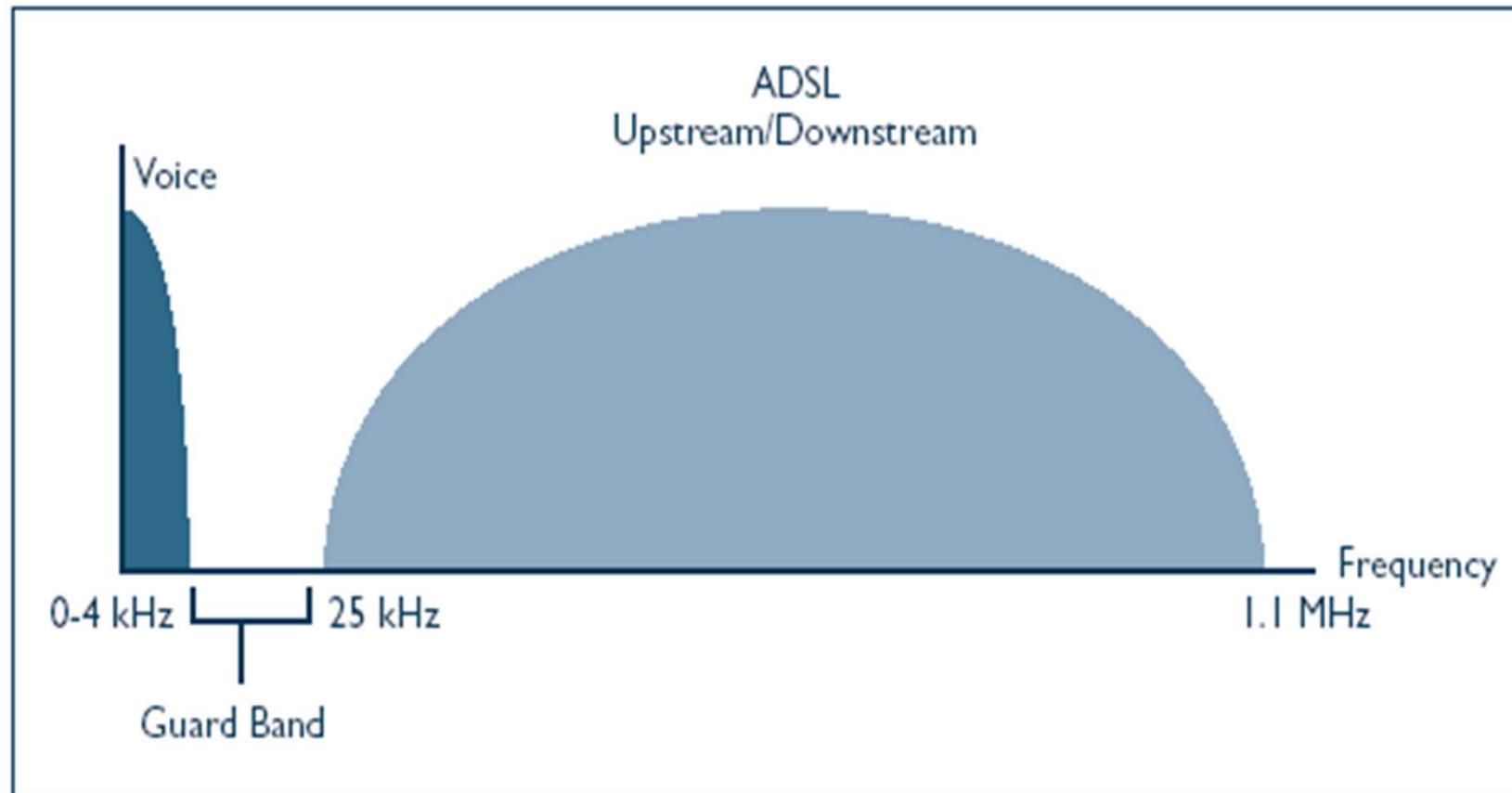
# xDSL technologies

ADSL és una d'aquestes tecnologies

**A whole family of technologies for data transmission over the copper pair is referred to as xDSL, where "x" is replaced starting in each case by the letters that distinguish each mode. In general xDSL is a set of technologies that provide high bandwidth over local loop copper wire without signal amplifiers or repeaters along the route of the wiring connection between the client and the telephone exchange to which is connected.**

Es separen les freqüències de pujada i les de baixada. ADLS, la A és per asimètric, perquè hi ha moltes més de baixada que de pujada.

# *Splitting the frequencies*



per treballar amb això podem fer 2 coses:

- \* CAP : fer servir una sola freq portadora (o 1 de pujada i una de baixada), però que tota la amplada es centri en aquella freq.

- un problema és que si passa algo a alguna freq, afecta a tot el canal

- \* DMT: la que es fa servir a la actualitat, es fan servir multiples portadores amb amples de banda de 4 khz.

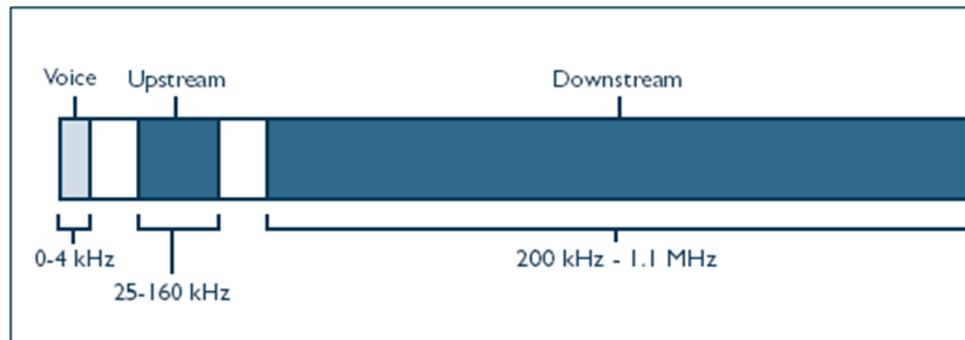
això no va triunfar fins que no va sortir un algorisme (DSP) que va permetre fer la transformada discreta de fourier de forma ràpida per hardware

C8 - p32

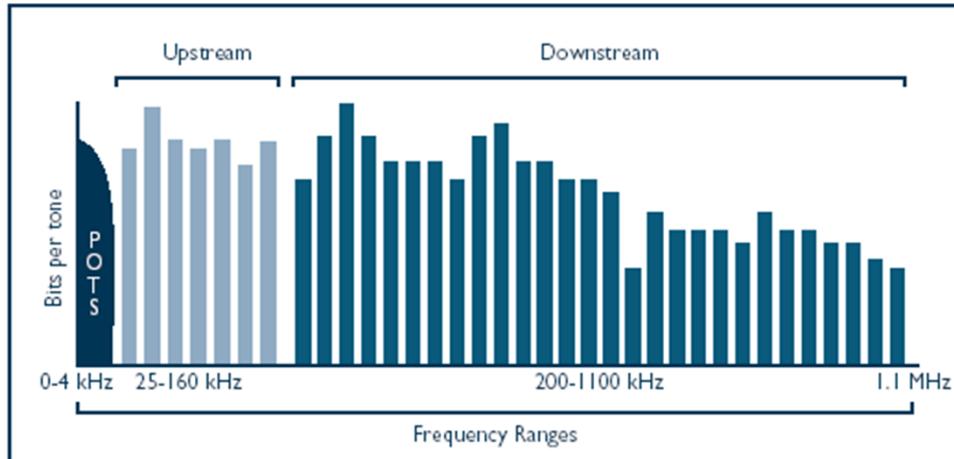
m

# Modulation.

## CAP



## DMT



el modem va provant per quins canals hi ha més qualitat i els assigna més bits.  
ADSL fa servir 256 canals

**The basic idea of DMT is to split the available bandwidth into a large number of subchannels. DMT is able to allocate data so that the throughput of every single subchannel is maximized. If some subchannel can not carry any data, it can be turned off and the use of available bandwidth is optimized.**

# ***ADSL concept***

---

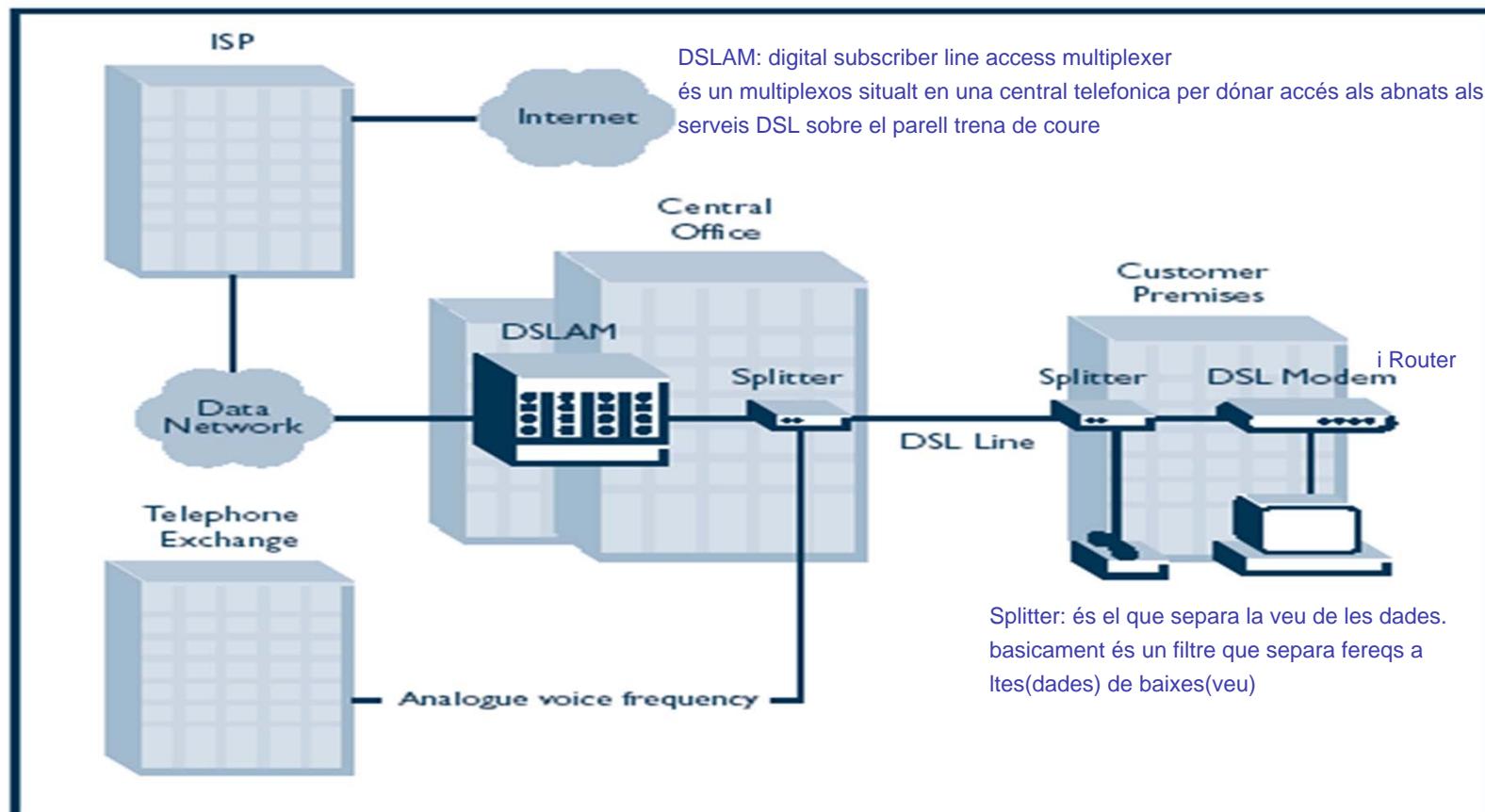
**Asymmetric Digital Subscriber Line (ADSL)**, an important variant of the DSL family, has become very popular. With ADSL, most of the data bandwidth is devoted to sending data downstream towards the user and a smaller proportion of the bandwidth is available for sending data upstream towards the service provider.

This scenario suits Internet browsing applications, which typically involve much more downstream than upstream dataflow.

els routers es solen fer servir com a modem. es ven un router que incorpora les dues coses, pero hi ha un router que és de nivell 3, i un modem, que és un dispositiu de nivell 1.

#APNTS

# ADSL network setup



# Standards

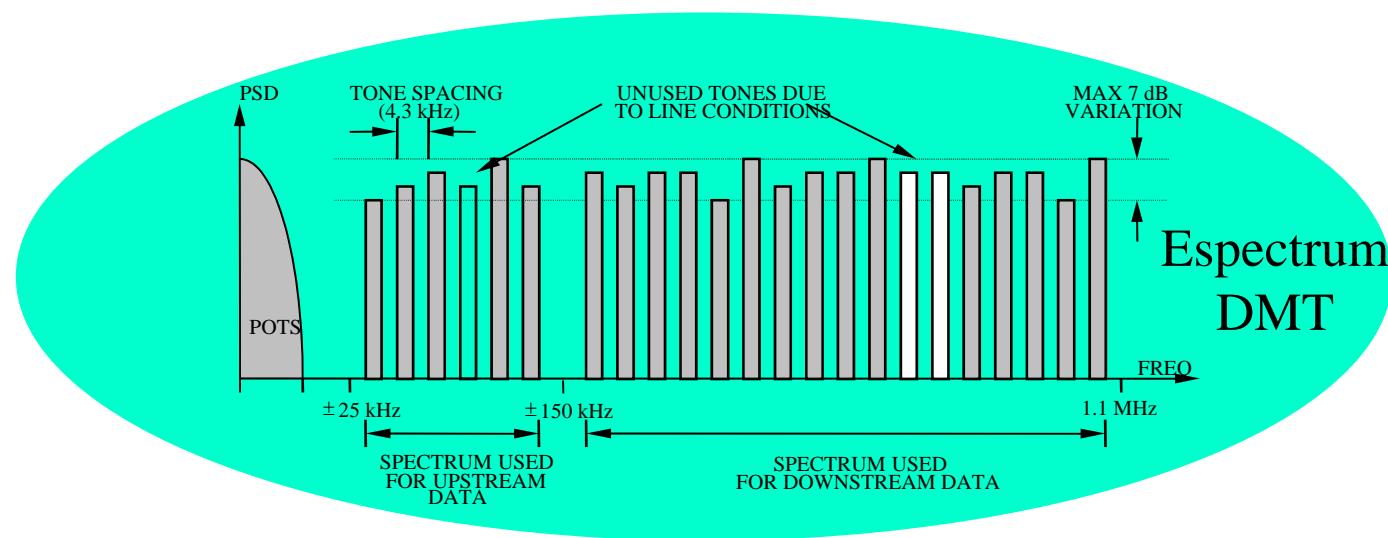
- ANSI (American National Standards Institute) in sucomité T1.143 issue 1 (1995) and T1.413 issue 2 (1998) defines the standard for the physical layer.
- ETSI (European Telecommunication Standards Institute) has contributed to including an annex with European requirements.
- ITU (International Telecommunications Union) has developed recommendations G.992.1, G.994.1, G.995.1, G.996.1 and G.997.1.
- ADSL Forum proposed protocols, interfaces and architectures necessary for the development of ADSL.
- The ATM Forum and DAVIC (Digital Audio-Visual Council) have been recognized as a transmission protocol ADSL physical layer for unshielded pairs.

ni s'SDH ni el PDH ni el ethernet aniran bé aquí perque el cable de telefon és molt "frestec".

en ADSL el nivell físic és pròpi, ja que el fil del telefon fa que es necessiti un sistema de transmissió molt fiable.

# ADSL. DMT

L'ADSL utilitza modulació DMT, que portamoltes portadores tal que la suma de totes doni la velocitat total, el fet de tenir moltes freqüencies ens permet que si hi ha errors en algunes, s'eliminen aquelles i els bits que passaven per allà, han de passar per altres i per tant la velocitat global baixa, però no es cau el servei.

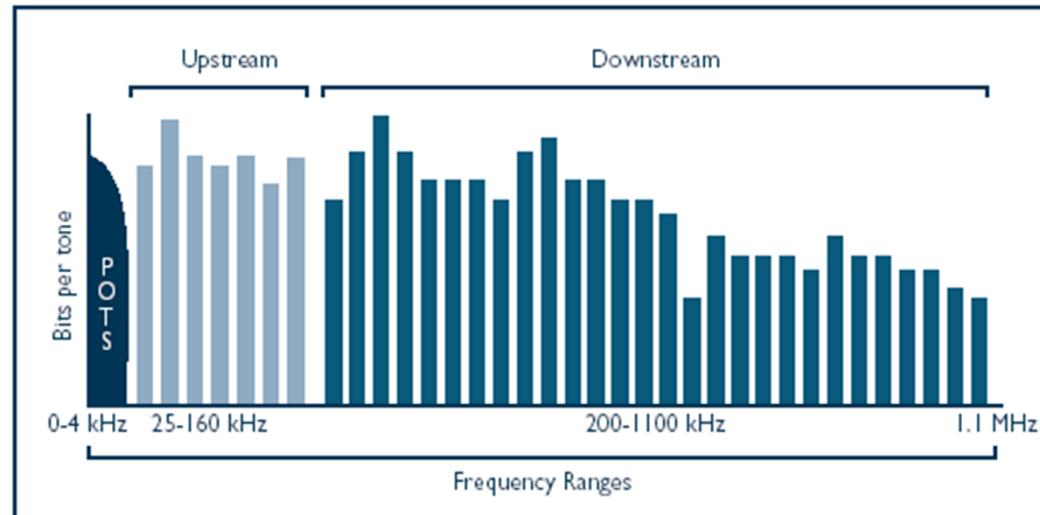


- Used FDM and echo cancellation.
- Channels (carriers) of 4 kHz. and separated each 4.3125 kHz.
- 0 to 5 for POTS and from 0 to 31 for ISDN.
- Used QAM and Trellis coding. digital modulation "Fast Discrete Fourier Transform." Standard TI.413. cada canal està codificat i modulat amb QAM i amb Trellis per optimitzar
- There is the "bit-swap" that enables the modem to maintain a S / N constant in the carriers. Eliminates those inadequate.

Quan una de les portadores té problemes (soroll, atenuació...) s'elimina aquell canal i es fa servir algun dels altres.

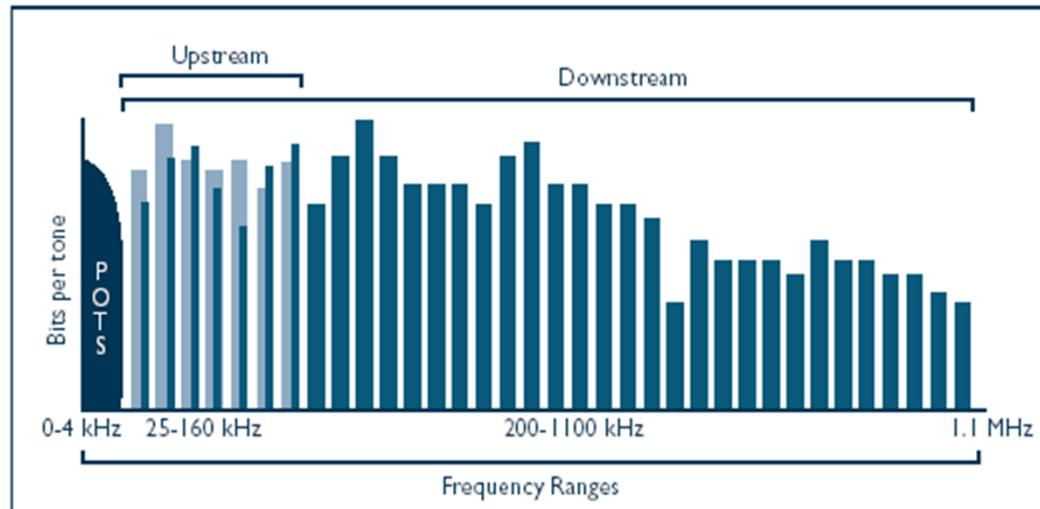
# FDM and Echo cancellation

supressió d'eco

**FDM**

la alternativa a la cancelació d'eco és el FDM, però ens obliga a repartir entre pujad ai baixada.

**UP: 25 carriers**  
**DW: 224 sub carriers**

**EC**

la supressió d'eco permet treballar tant de pujada com de baixada amb les mateixes frequencies.

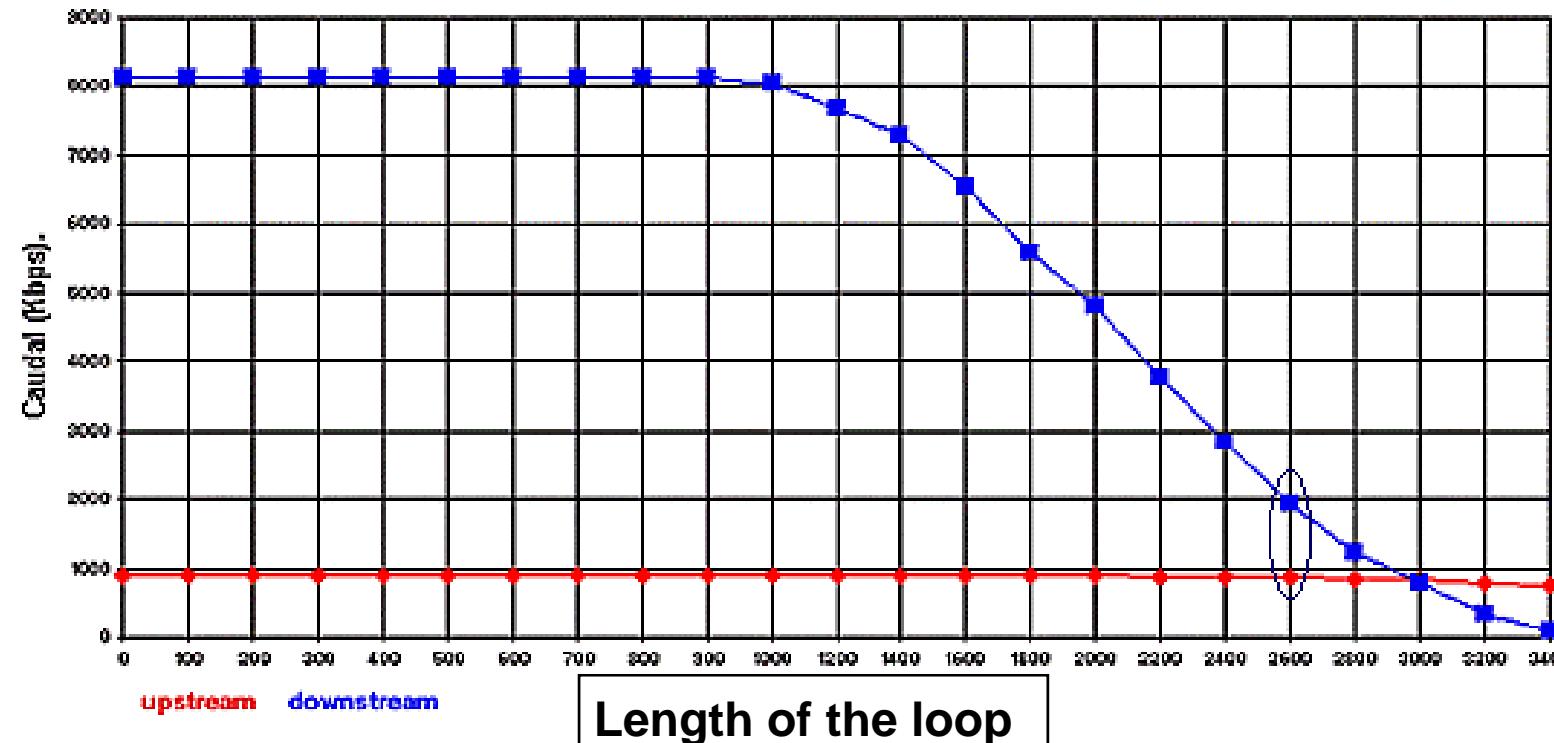
"el que transmet agafa el que està rebent, i le resta el que ell mateix està transmetent. també es resta l'eco"

**UP: 25 carriers**  
**DW: 250 sub carriers**

Això no es fa perque l'ADSL és asimetric, per fer-ho hi ha el HDSL

# Performance of ADSL. Throughput

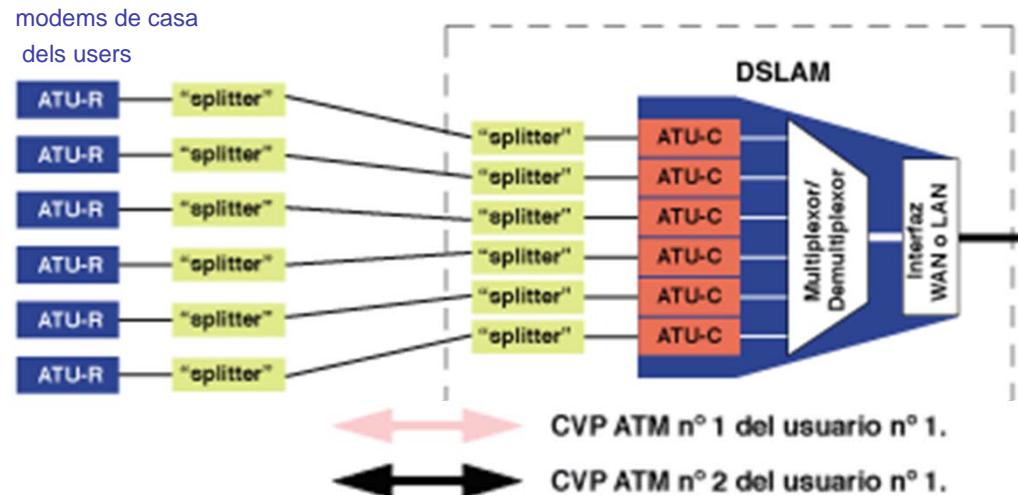
la velocitat de transmissió disminueix amb la distància (la distància física del cable), perquè augmenta la atenuació d'algunes freqüències, van caient portadores i va baixant la velocitat



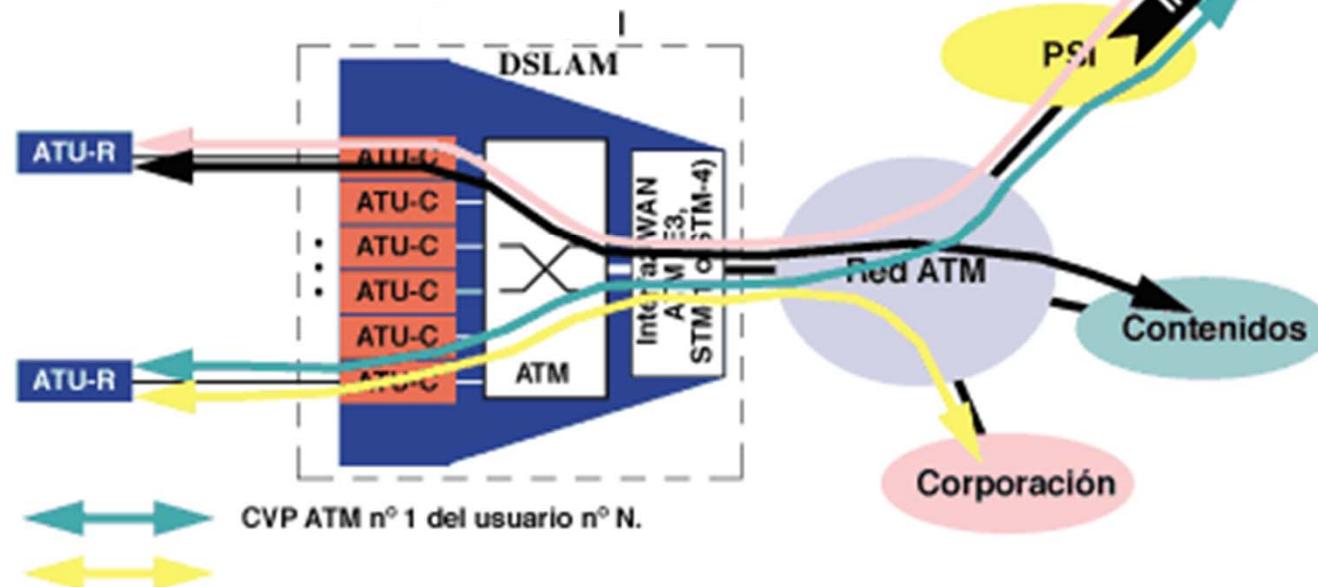
DSLAM son els aparells que tenen les centrals de telefons

el DSLAM pot treballar a nivell 3 o 2. si el DSLAM treballa a nivell 3 és un router, sinó és un multiplexor ATM (es diu BRAS) i el que ne surten son circuits virtuals ATM

# DSLAM



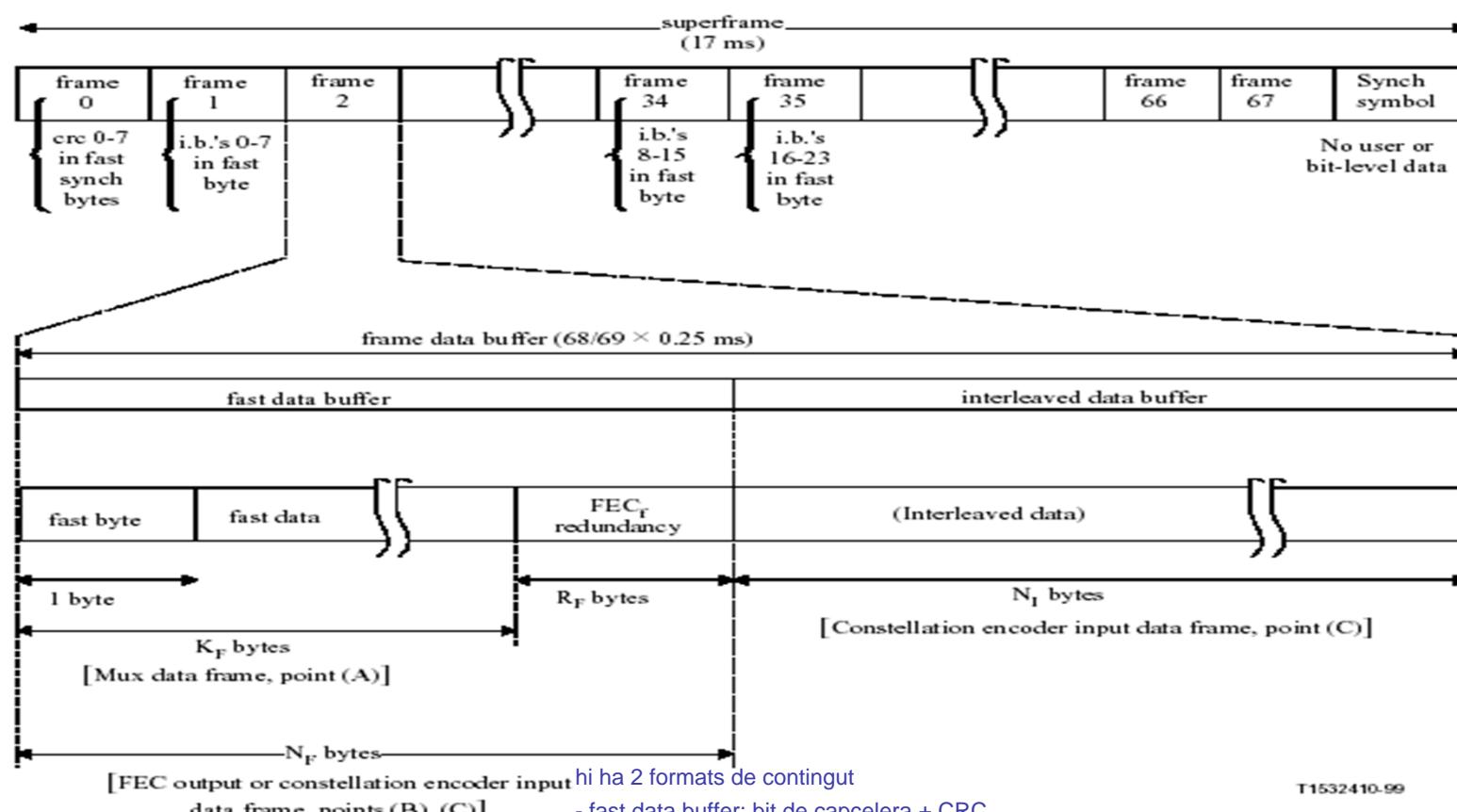
Two types of DSLAM: ATM & IP



per poder sincrinitzar.  
és específic de l'ADSL,

aquest sistema es basa en el temps i no en la velocitat. cada 17ms tenim una supertrama sincronitzada, de 68 trames.  
en té 68 (de la 0 a la 67) però es reparteix per a totes les trames la trama de sincronització, i és com si fossin 69.

# Super frame ADSL

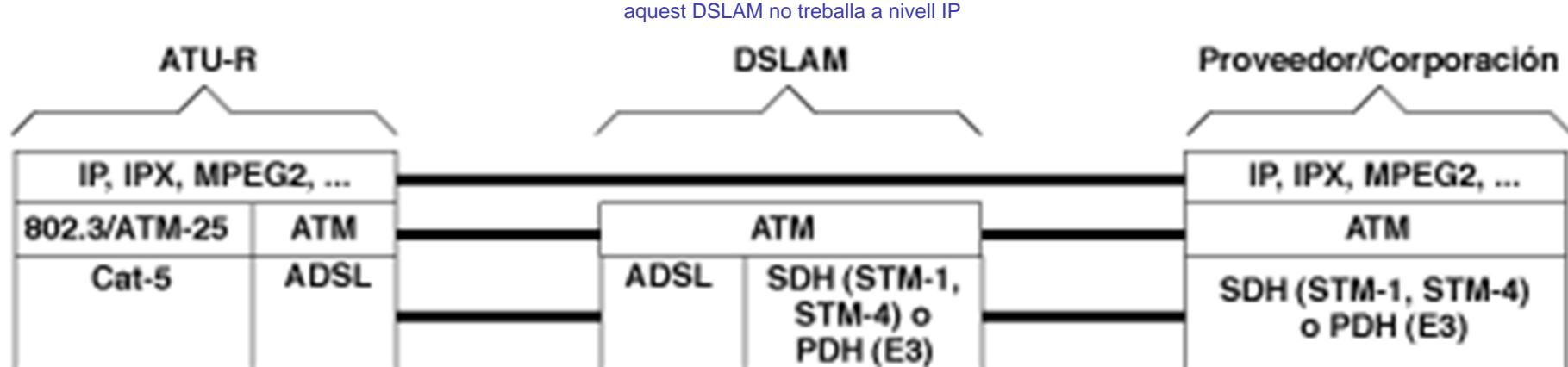


hi ha 2 formats de contingut

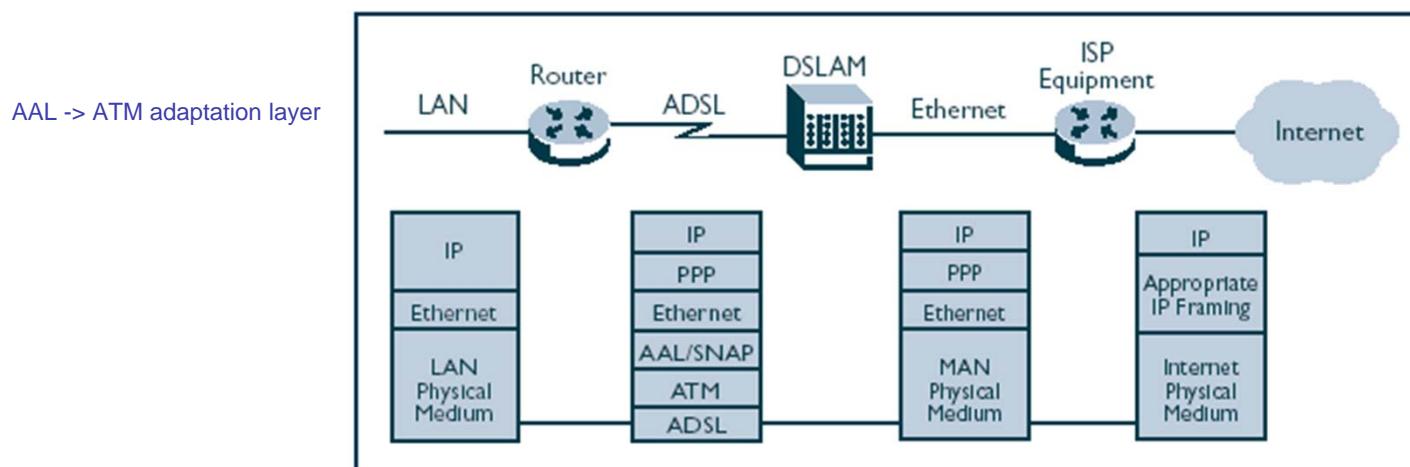
- fast data buffer: bit de capçalera + CRC
  - avantatges: més velocitat, latència
  - inconvenients: fa servir part de la trama per headers
- interleaved data buffer: fa servir un algorisme que millora la relació senyal soroll.
  - avantatges: millora el throughput respecte l'altre, ja que no gasta bytes en header
  - inconvenients: l'algorisme necessita un temps de process

T1532410-99

# OSI model



## PPPoE / PPPoATM



si el DSLAM es router es fa a través d'ethernet. però la connexió entre el DSALM i el router de casa teva es posa ATM per sobre d'ethernet (chapuza)



## 4.2 *Cable coaxial*

la solució de cable coaxial (HFC) #APUNTS  
una grànica diferencia amb ADSL és que amb coaxial, l'accés està compartit.

## Departament d'Arquitectura de Computadors

el coaxial es fa servir sobretot per tele per cable, encara que a espanya no s'ha extès.  
La idea és fer servir aquesta xarxa per a transmetre dades i internet.

# ***Evolution of MAC protocols on HFC***

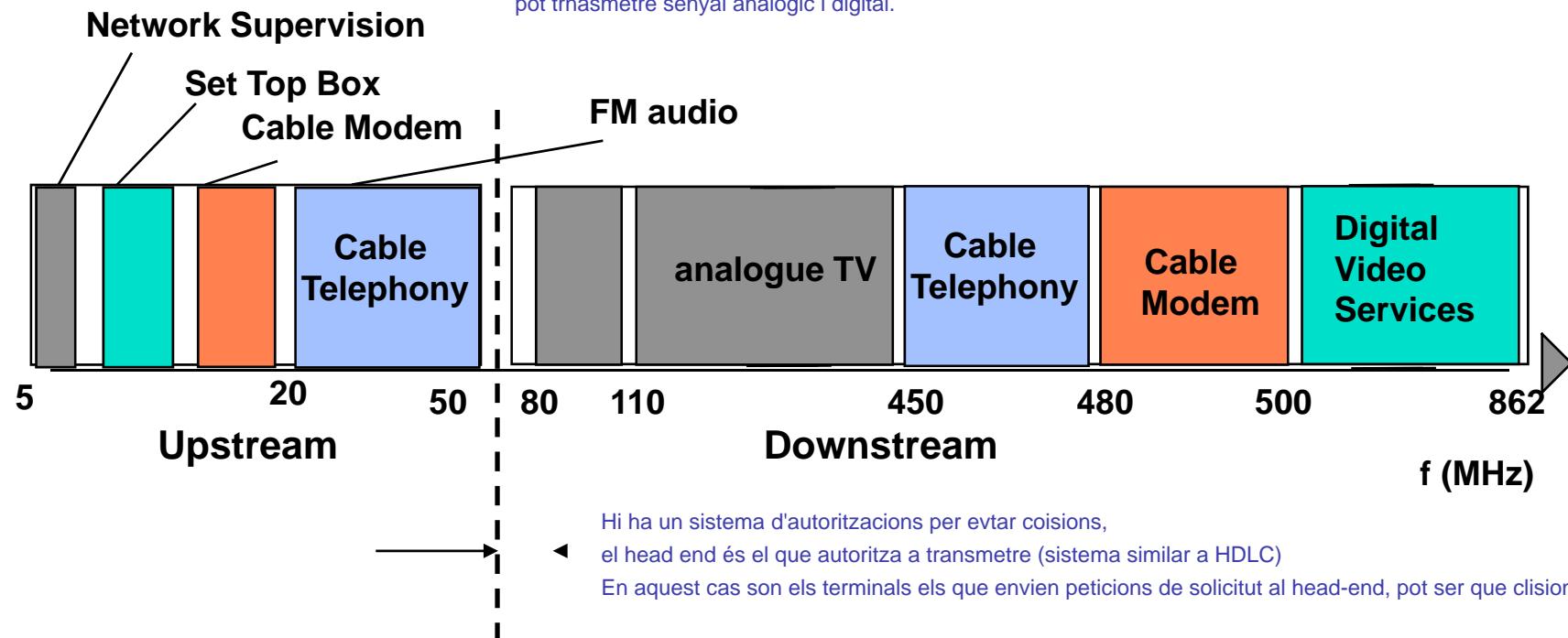
- **1st Generation, in which the systems were proprietary.**
- **2nd Generation, in which the first standards are those developed by MCNS (Multimedia Cable Network System), and listed in specification DOCSIS (Data Over Cable Service Interface Specification). In Europe DAVIC / DVD (Digital Audio-Visual Council / Digital Video Broadcasting) is the predominant standard for set-top box and now also for cable modems.**
- **3rd Generation, sponsored by IEEE and included in his standard IEEE 802.14, intended as an international standard. It uses ATM as the best way to provide QoS (Quality of Service) guaranteed that require integrated voice communications, data and video over cable networks. Also DOCSIS 3.0**

# HFC Frequency plan

aquesta és la distribució de freqüècies

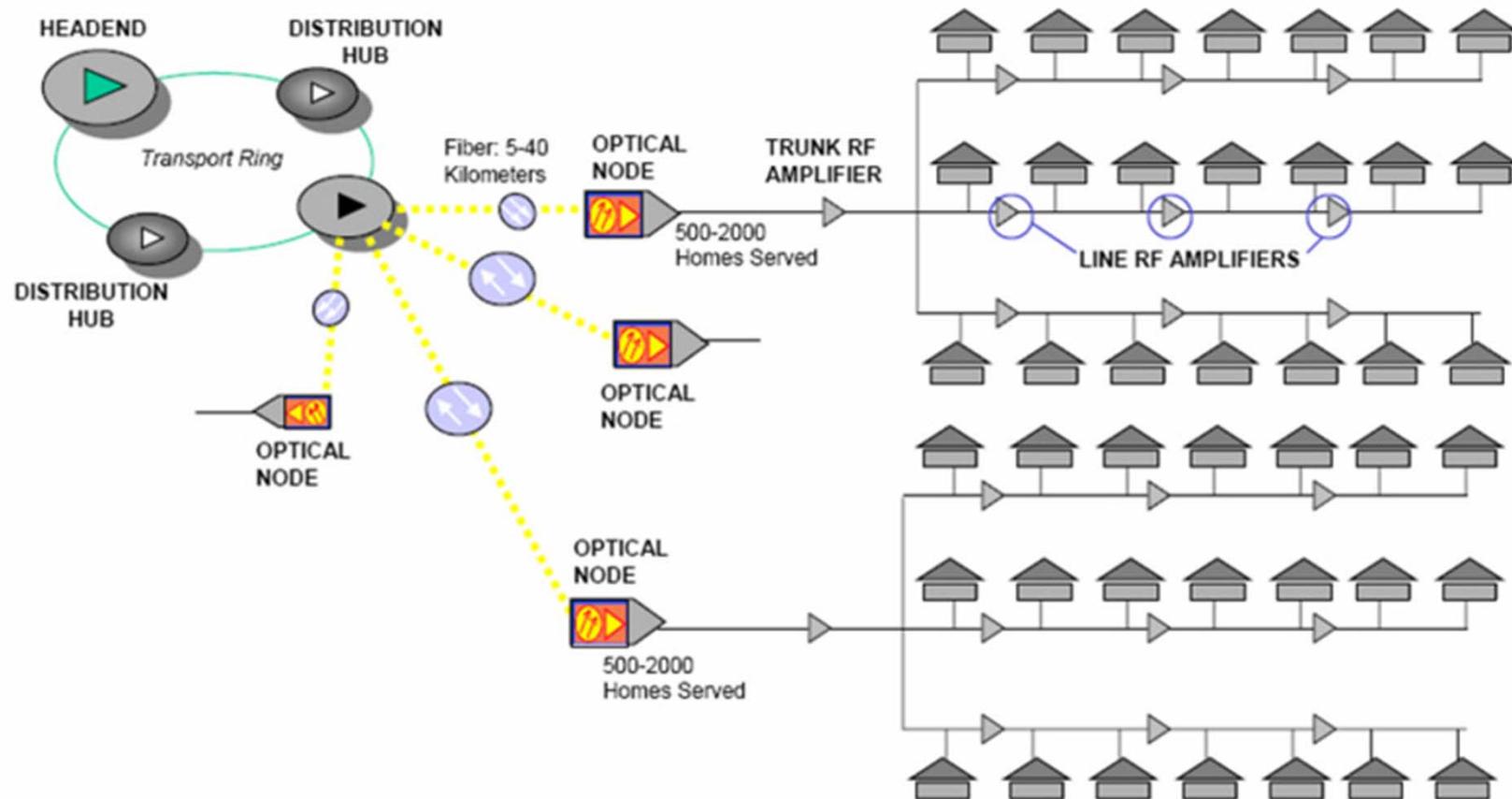
La que es fa servir per dades és la de cable modem. i aquí no es pot fer servir la cancel·lació d'eco perquè es fan servir freqüències diferents i no entren mai en conflicte les de pujada i de baixada

pot transmetre senyal analogic i digital.



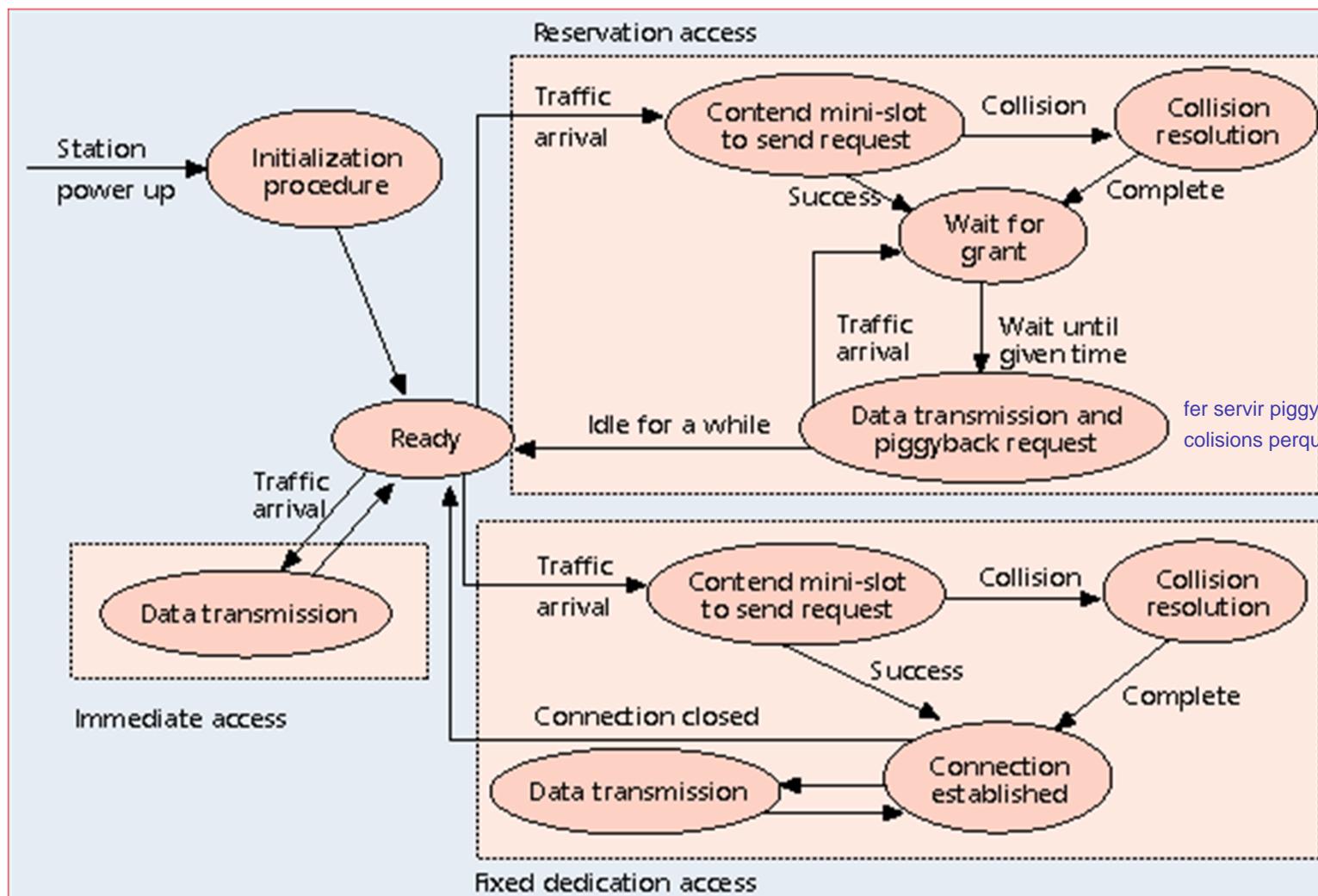
la idea és combinar una xarxa coaxial amb una de fibra, el que es fa és connectar els abunts a nodes zonals mitjançant coaxial, i unir els nodes zones entre sí fent servir fibra òptica.

# HFC Network



El head end decideix en funció de la càrrega de la xarxa que veu.  
per a la pujada de dades, no hi ha un poll/select ja que volem que qualsevol terminal pugui transmetre en qualsevol moment, però hi haurà colisões. El mecanisme que hem decidit és dividir el canal en slots, i cada terminal fa servir "minislots" per a fer la sol·licitud de pujada de dades. i si hi ha una col·lisió s'espera un temps de back-off abans de tronar a transmetre (se sap que hi ha hagut colisió perquè no s'ha rebut la autorització de la sol·licitud)

# MAC access mode

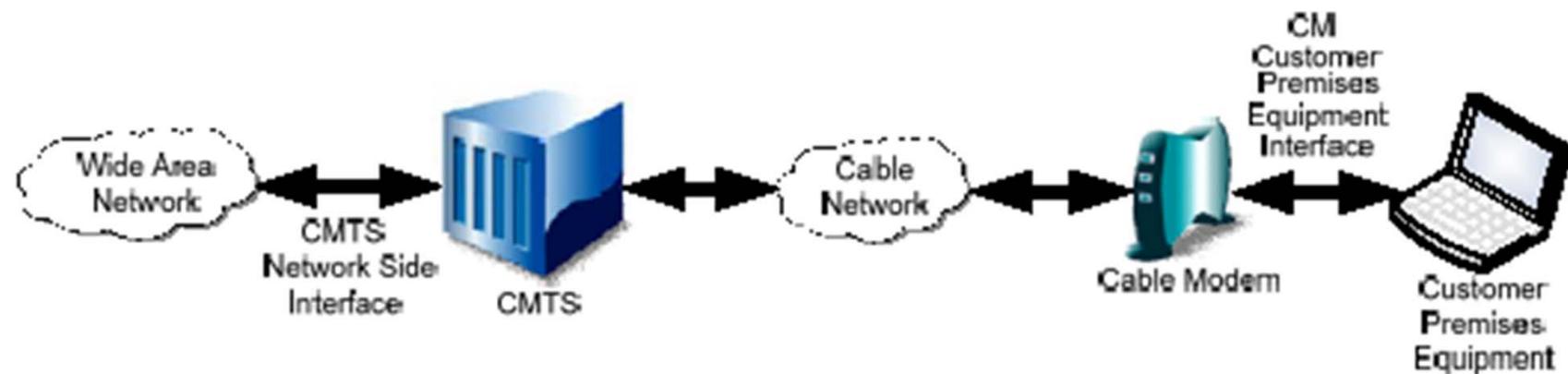


<-- per a resoldre colisões s'usa la P-persistència per a calcular els temps de back-off (cada cop que es calcula un back-off aquest és més gran)

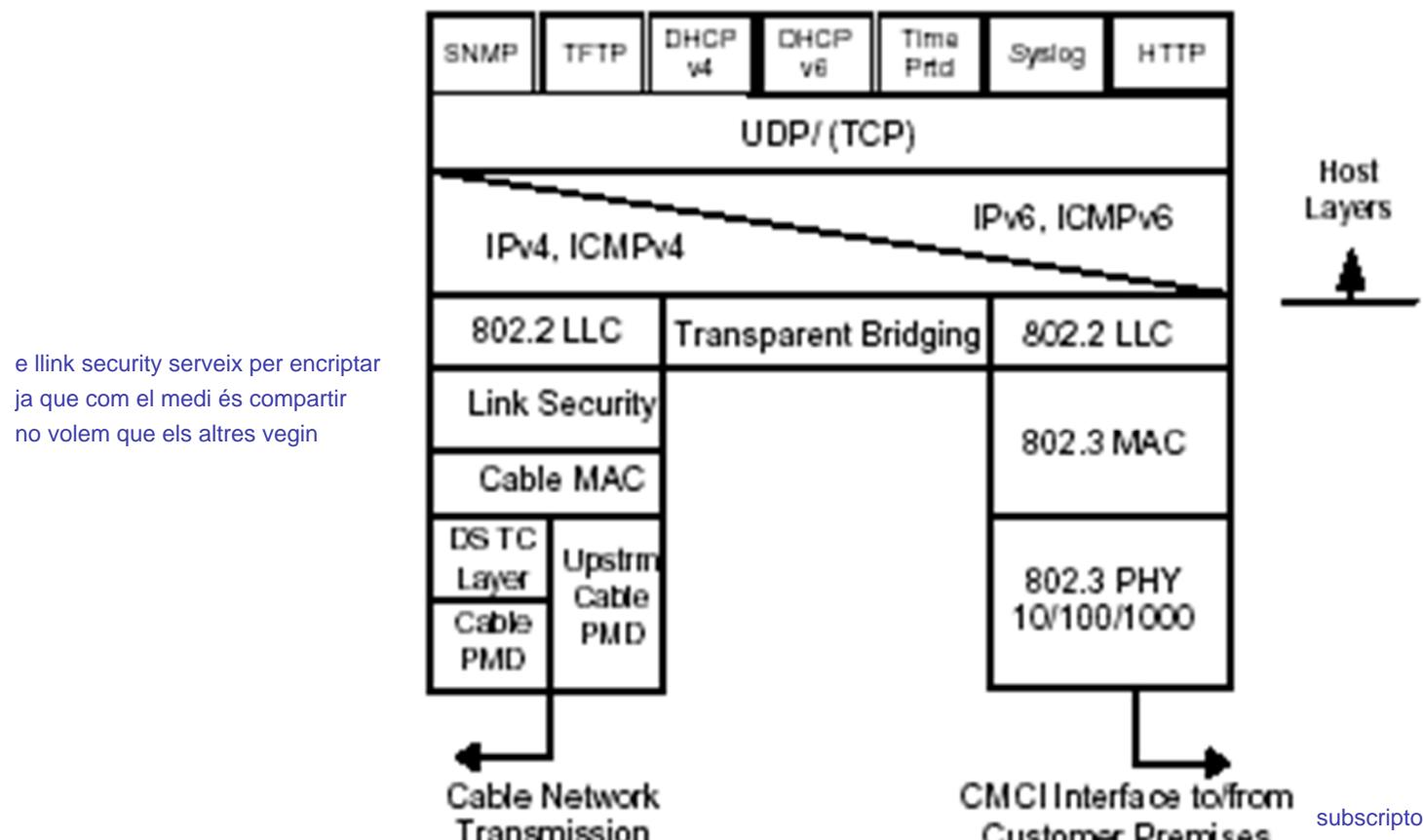
fer servir piggybacking aquí es estalviem les colisões perquè aquesta trama ja està autoritzada

"...  
aquesta tècnica és bona per a l'usuari perquè sempre té slots lliures, hi ha slots sempre reservats però és una solució dolenta per a la xarxa"

# *Transparent IP traffic*



# Docsis Cable Modem protocols stack

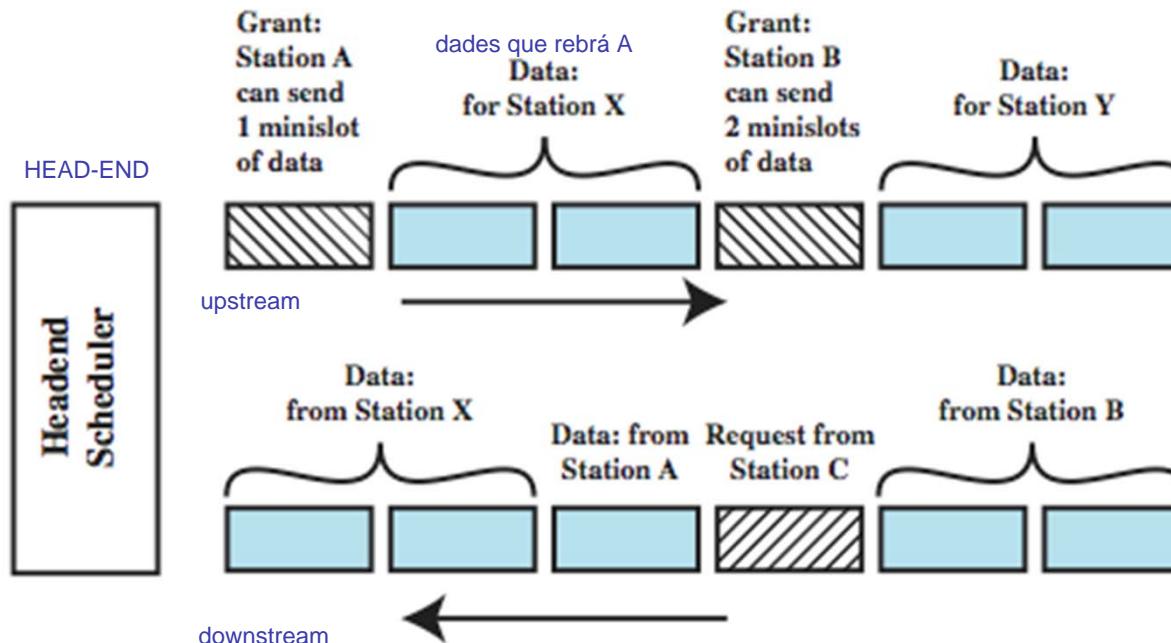


en aquesta slide es veu com es distribueixen els miniSlots

"hi ha minislots que estan reservats per requests"

# Cable Modem Scheme

autoritza a la A perque  
previamente li ha demanat



# MAC functions

- Initialization.

- Ranging. RTC correction parameter.

- Synchronization.

sincronitzar temporalment l'ample da banda en minislots per numerar-los

- Physical layer MAC Level

- Access mode upstream channel. terminologia 802.14

- Immediate access (not allowed)

- Restricted access

- Access isochronous

- Collision Resolution

PDF DOCSIS

ex 100Mbps

DOCSIS és un estàndard que defineix interfícies per operar amb sistemes de cable. això permet afegir transferències de dades d'añta velocitat a un sistema de Tv per cable

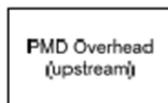
# **DOCSIS 3.0 keys**

- **Downstream Channel Bonding with Multiple Receive Channels** la característica més important es el bonding: que el canal de dades pot agafar fins a 4 canals (si els necessita)--> velocitat x4 calen modems diferents
- **Upstream Channel Bonding with Multiple Transmit Channels**
- **IPv6**
- **Source-Specific Multicast** permet enviar coses a més d'un receptor  
ex: si varios users estan veient un canal de televisió no cal enviar-ho tot dues vegades
- **Multicast QoS**

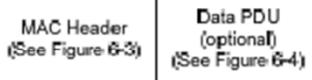
DOCSIS pdf

# DOCSIS MAC format

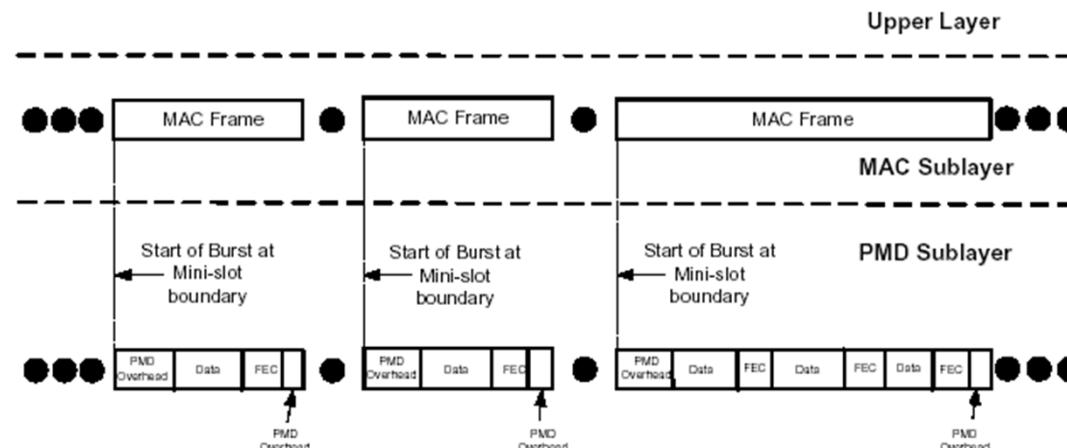
6.2.1.1



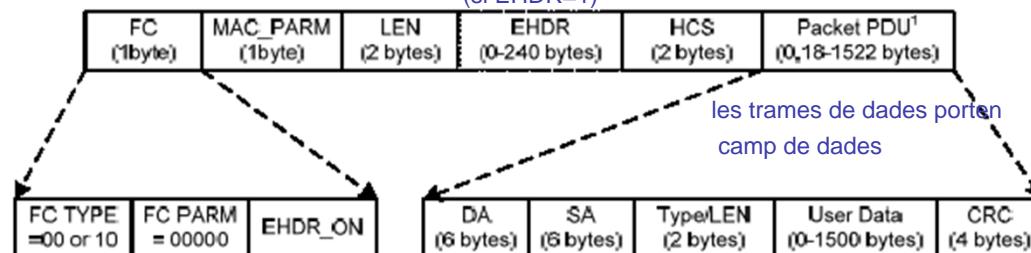
6.2.1.4



MAC Frame



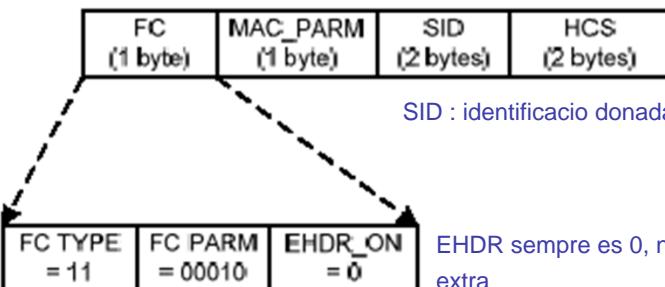
header extra  
(si EHDR=1)

**Data**

el bit EHDR\_ON

indica si la trama

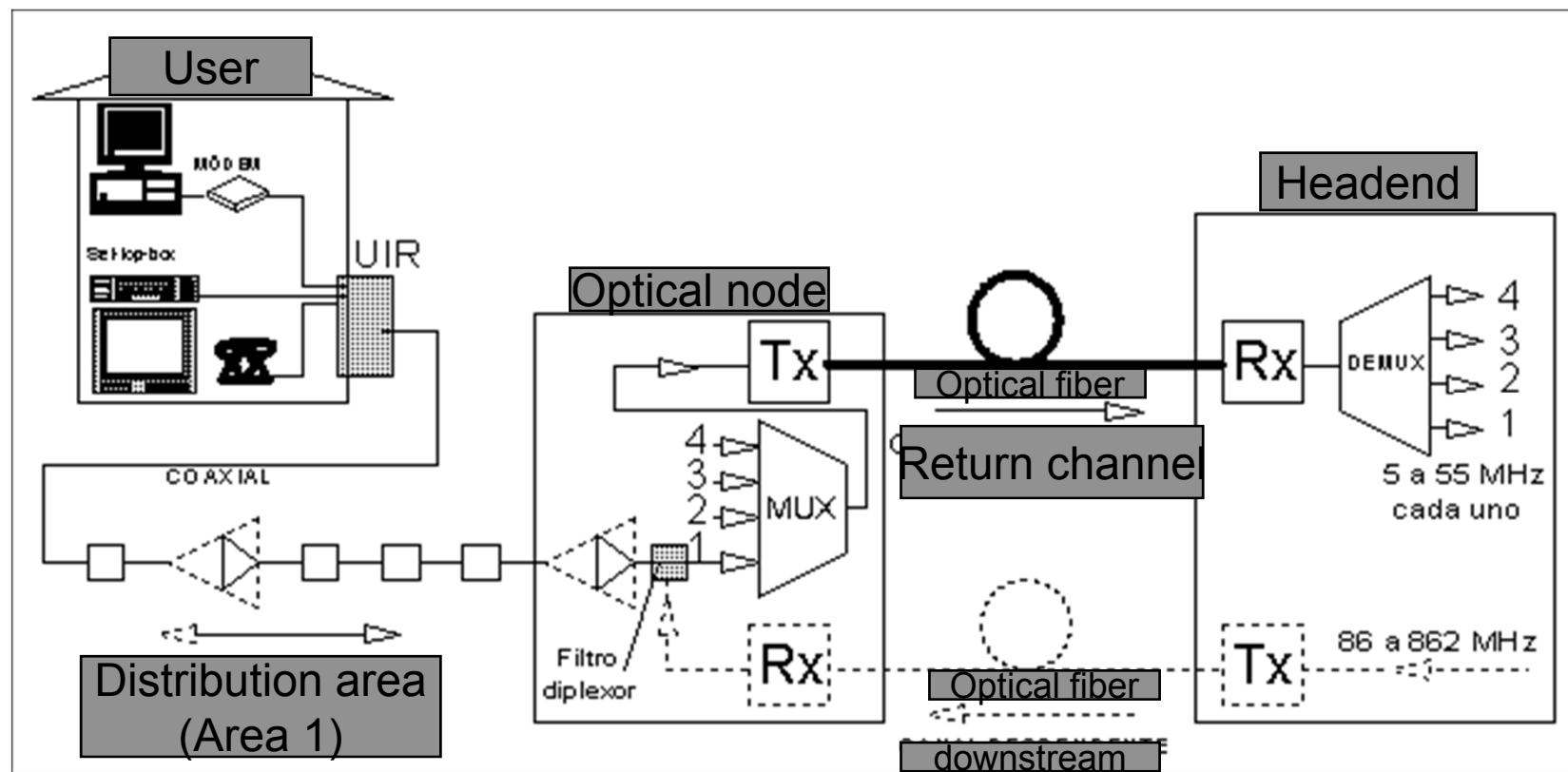
conté un header extra

**Request**

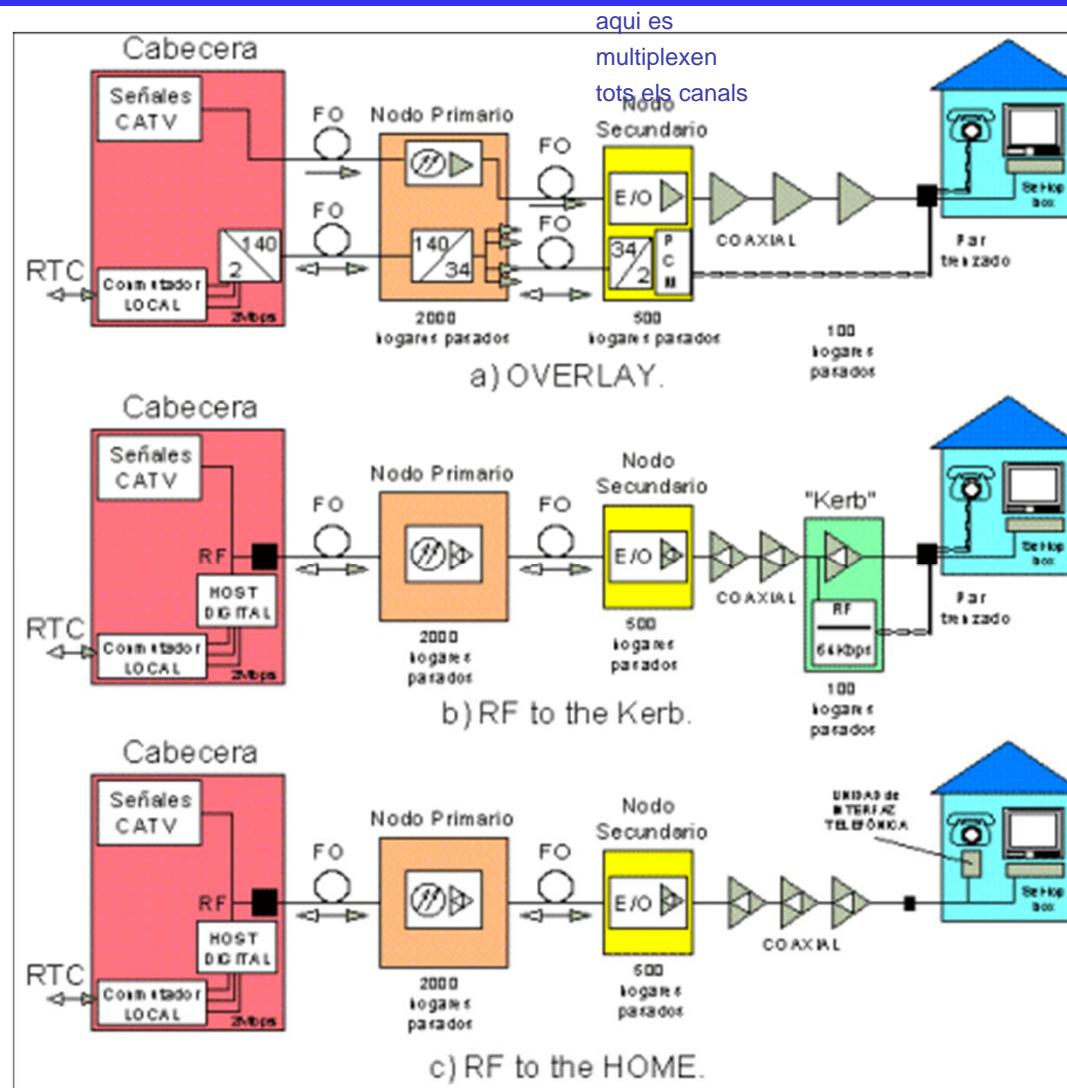
EHDR sempre es 0, no hi ha mai header extra

pot ser que els missatges aquests es divideixin en varios minislots de mida fixa.  
no cal padding perque aqui la mida de les dades esta a l'header

# HFC real network



# HFC telephone



la diferencia fonamental entre una xarxa de cable coaxial i una ADSL?

el cable coaxial té un ample de banda molt més gran que le del telefon però el rendiment és similar.

el nombre d'usuaris de cable en adsl és ilimitat perque cada usuari té el seu cable, en coaxial el medi és compartit



## 4.3 Fibra òptica

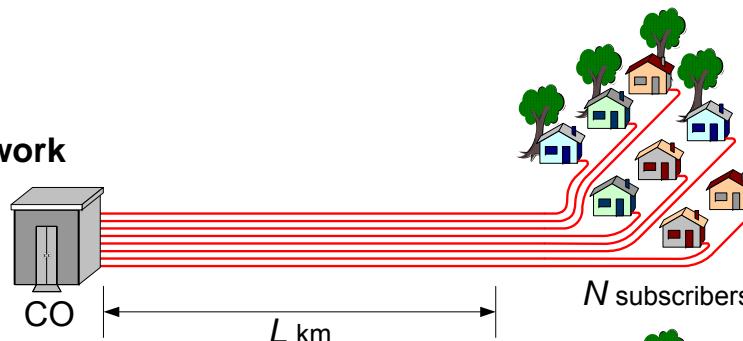
# Topologies: Point-to-Point vs. PON

passive optical network

PON: la idea principal és fer servir components òptics passius (splitters) entre les centrals i els clients, per guiar el tràfic de la xarxa, cosa que redueix molt el seu cost  
és point-to-multipoint

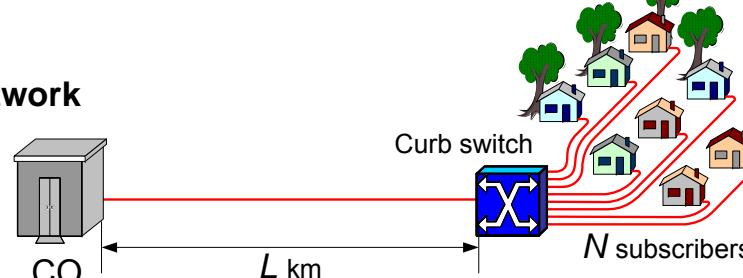
(a) Point-to-point network

$N$  fibers  
 $2N$  transceivers



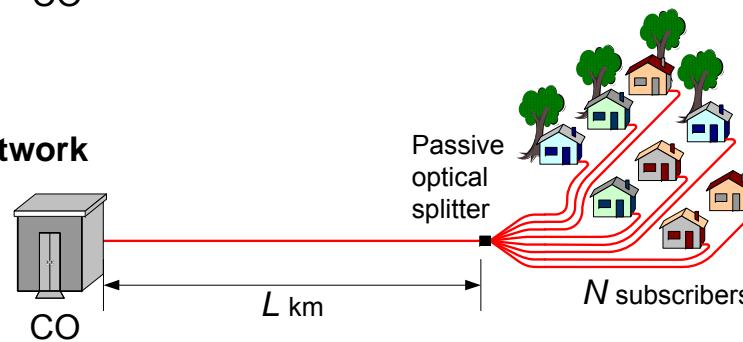
(b) Curb-switched network

1 fiber  
 $2N+2$  transceivers



(c) Passive optical network

1 fiber  
 $N$  transceivers



elements:

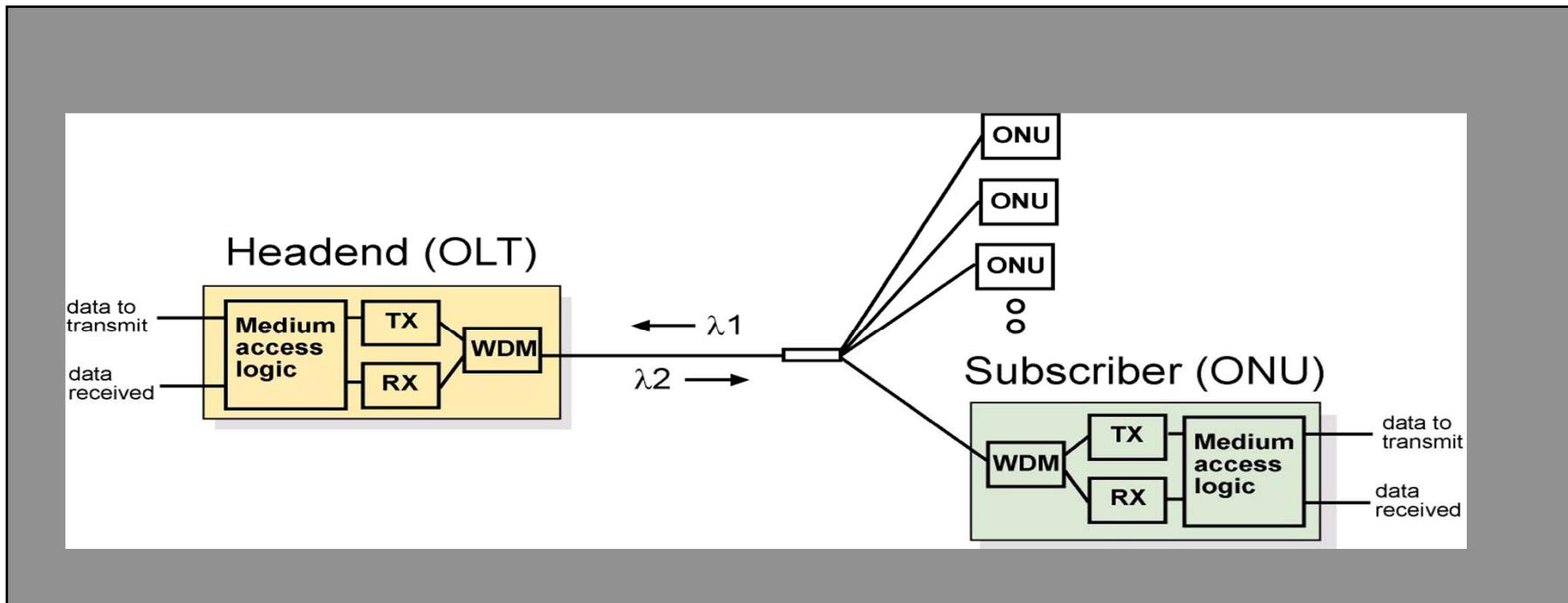
## OLT optical line terminal: a la central

ONU optical network unit: a la casa dels usuaris, i te les interficies que faran servir els usuaris (que poden ser ethernet de diferents velocitats)

# ***Single-Fiber PON***

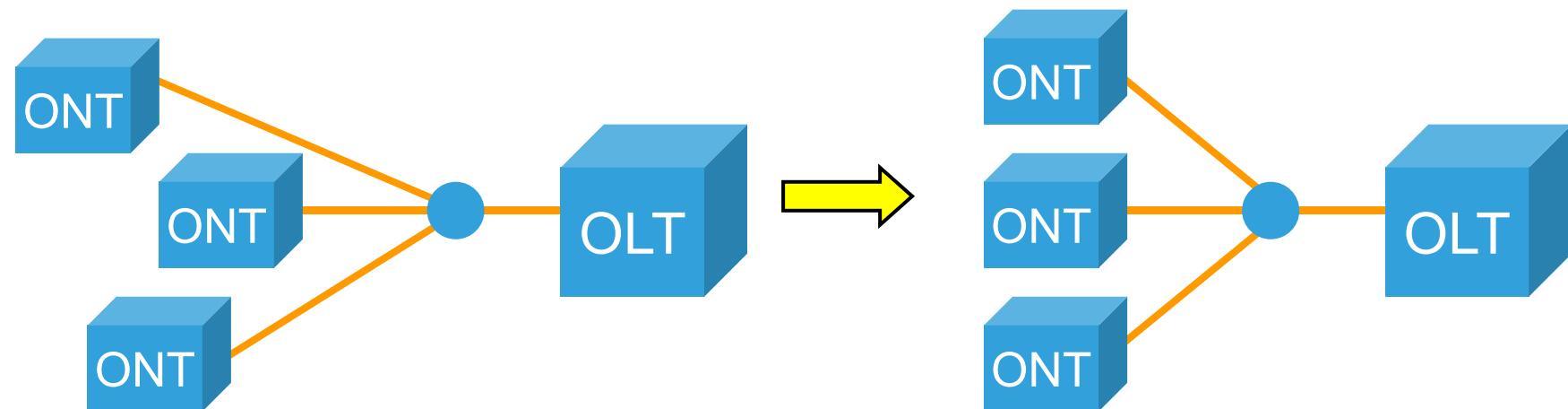
- Use 2 wavelength, but save fiber (repair and maintenance)
  - Use TDM in the upstream to avoid collisions

en la baixada es fa broadcast, però s'encripta



# Ranging

- Placing all ONTs at the same virtual distance from the OLT.



*Before ranging: physically at different distances*

*After ranging: virtually at the same distance*

# GPON Technology

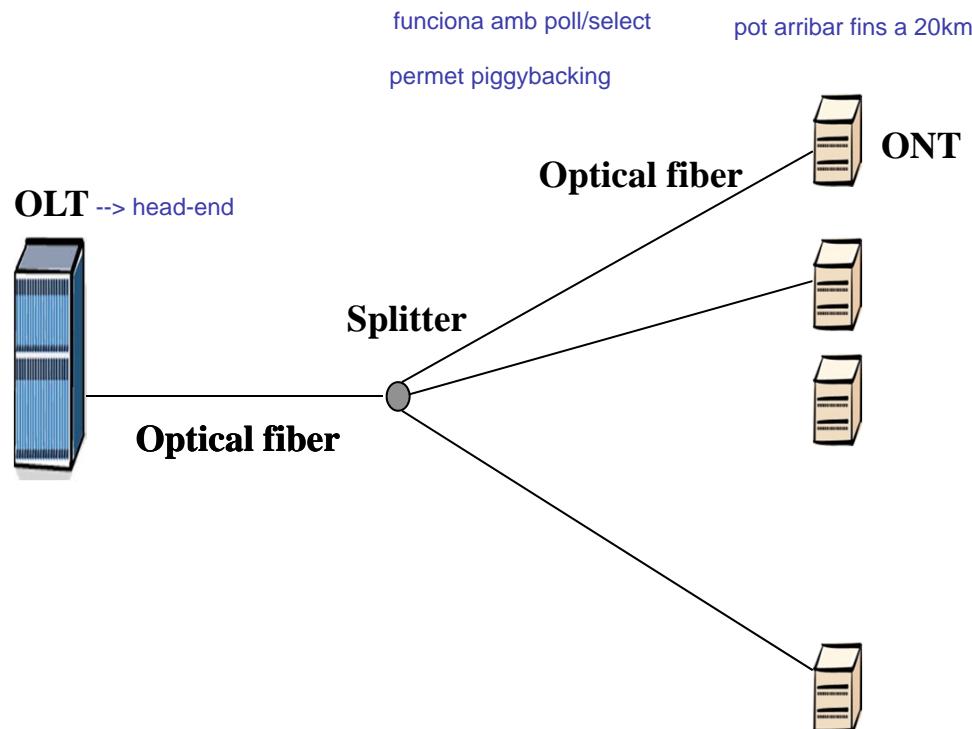
\*APON --> amb ATM, totes les dades aniran sobre la fibra optica i sobre el divisor de l'spliter, tot amb el format de trames ATM

amb APON la normativa deixa velocitats de fins a 622 Mbps, i es comparteix entre els diferents usuaris connectats

\*EPON --> fins a 1Gbps

\*GPON --> la que s'està instalant actualment. PON amb gigabit, format mixte (pot treballant amb ethernet com amb ATM)

## GPON: Gigabit Passive Optic Network



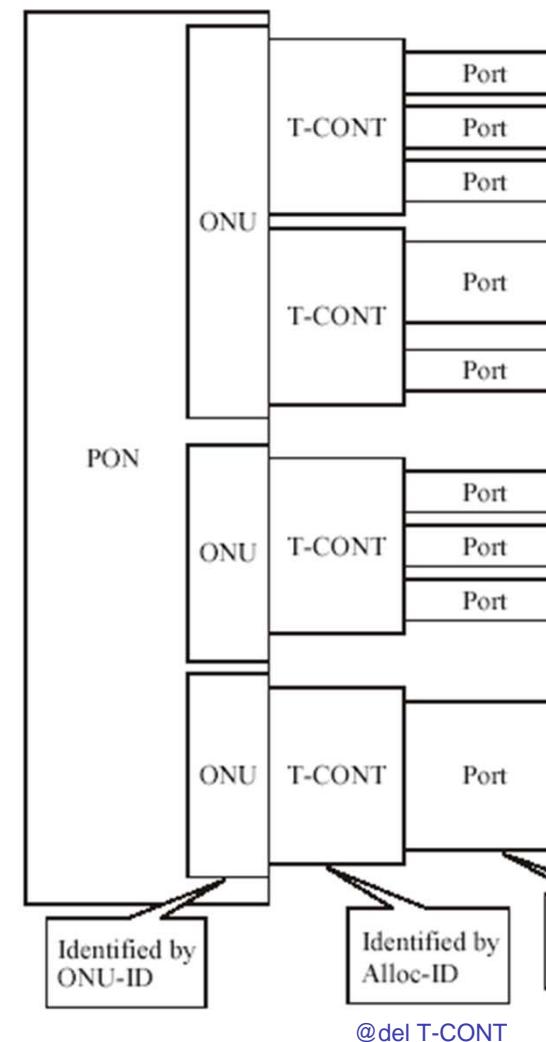
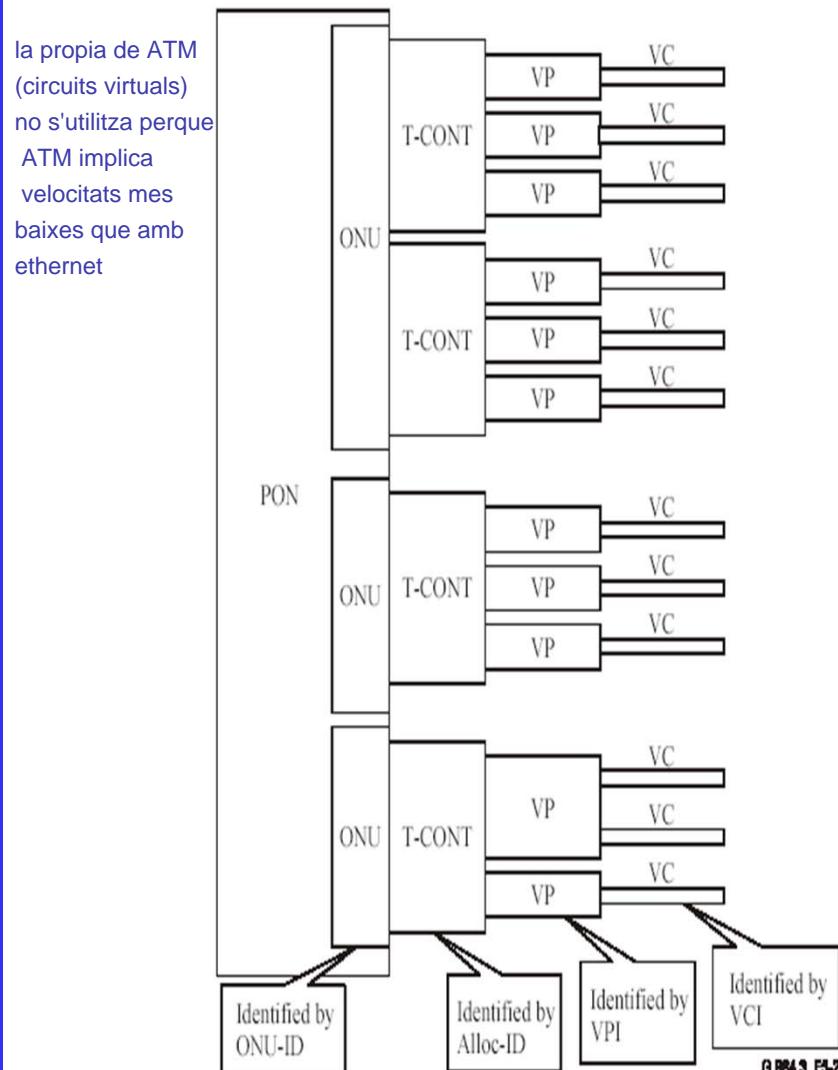
- **Optical Fiber**
- **Point to multipoint**
- **Several levels of splitting**
- **2.5 Gps DS and 1.25 Gbps US**
- **Up to 20 Km**  
per la atenuacio, dist maxima de l'OLT a l'splitter
- **TDM DS and TDMA US**  
s'usa TDM per la baixada i TDMA per la pujada.  
osigui que tant pujada cm baixada tens total a freq pero durant una part del temps.  
en el de baixada no hi ha accés multiple perque l'OLT diu per quin slot ho envia

La norma GPON contempla 2 possibilitats referents als protocols d'enllaç a utilitzar:

ATM - APON i BPON

GEM - nou per a GPON

# Multiplexed architecture



\* GEM (GPON encapsulated mode)  
cada nivell de multiplexació s'encapsula amb una identificació.

ONU gestor que està connectat a l'usuari final.

\* és un sistema digital que només fa servir una freq (longd'ona) de pujada i una de baixada. i per tant tots van a la mateixa velocitat (2.5 de baixada i 1.25 de pujada) no hi ha modulació, és un sistema de codificació digital

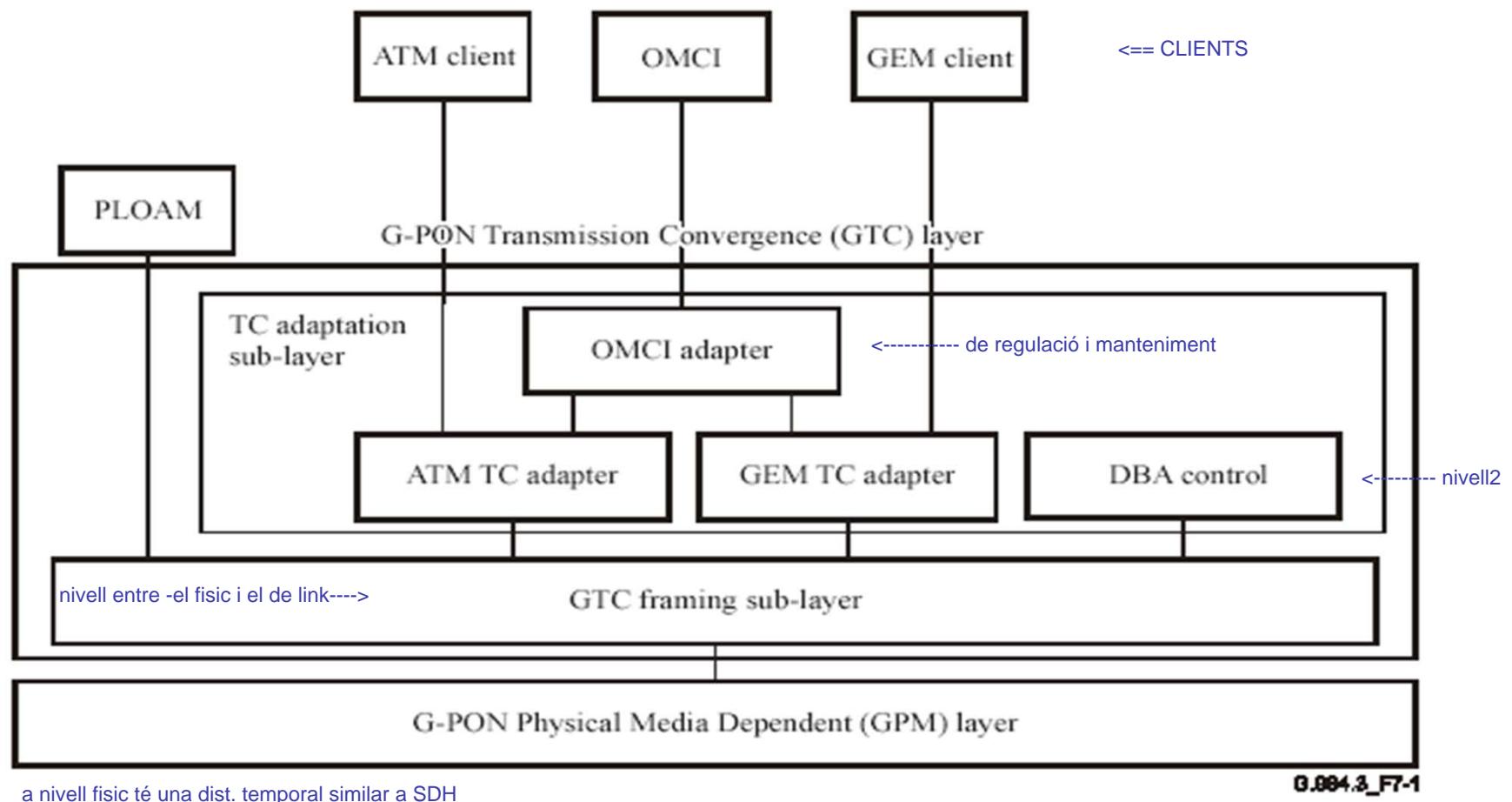
\* T-CONT --> contenidor, indica un grau de servei que implica una qualitat e servei. normalment n'hi ha 3 (veu, video i dades) cada Tcont identifica una qualitat de servei, i cada ONU té buffers per a cada un.

\* dins de cada T-cont pot haver-hi diferents ports (tots diferents entre si, independent de a quin Tcon o ONU pertanyen)

totes les @ son uniques

-- ex: cada numero de telefon aniria en un port different, en el video cada port seria un canal, i en dades connexions differentes

# Protocol stack



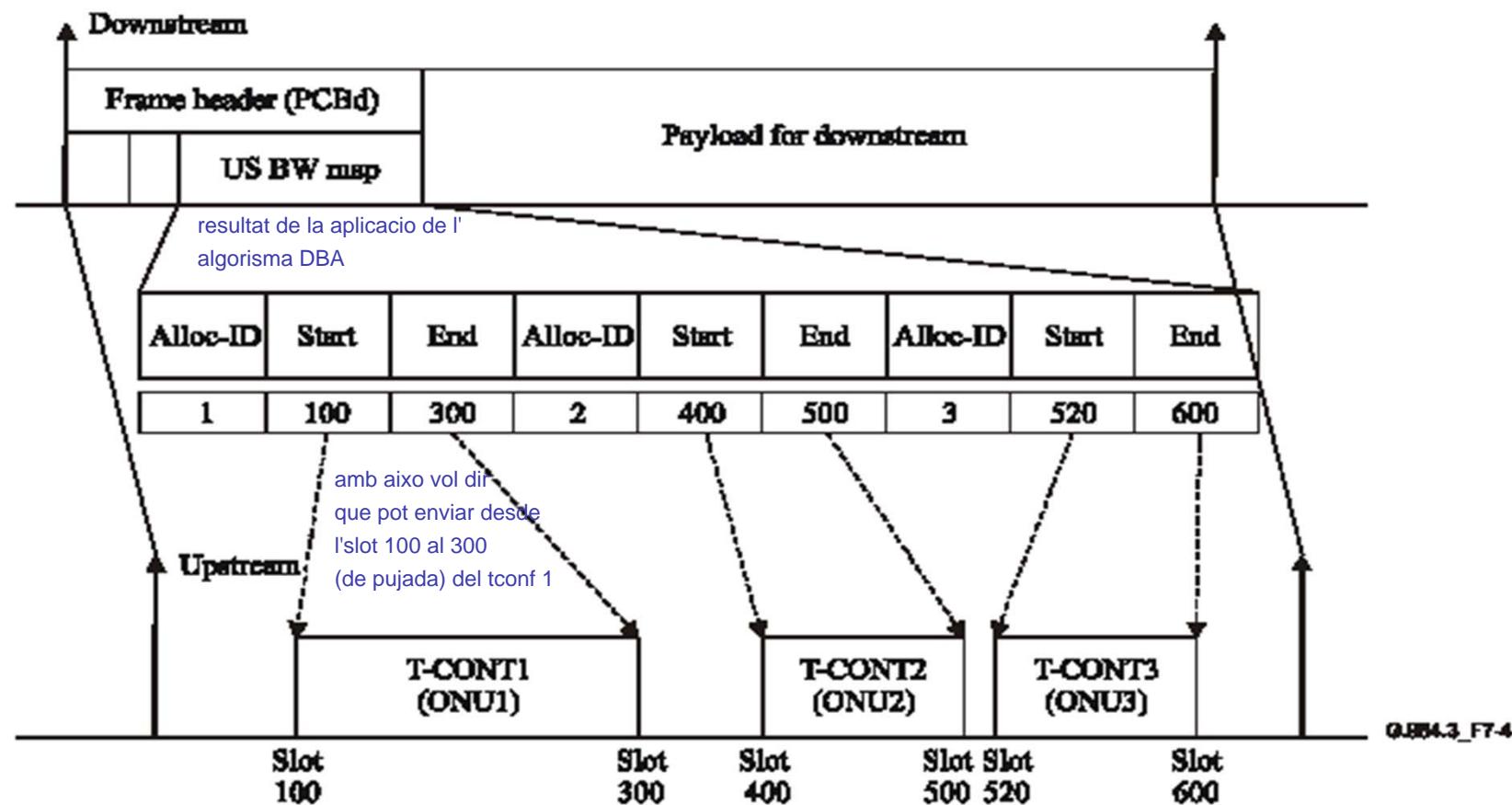
Com s'accedeix al medi?

\* Vt up --> 1.24416 Gbps --> 19440 bytes, que son els slots

Vt down --> 2.48832 Gbps --> 38882 bytes slots

# Media access control

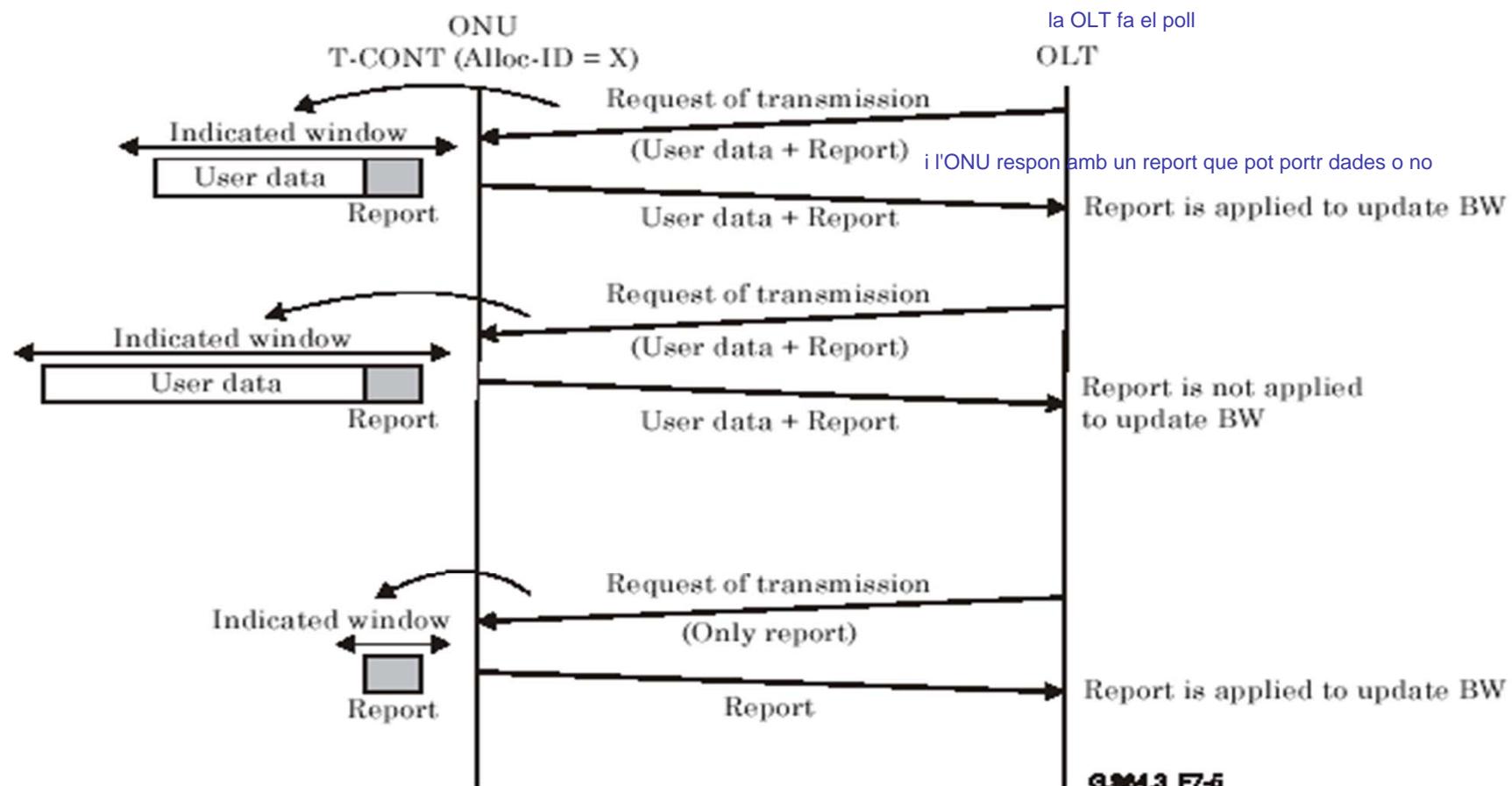
aquí els slots son els bytes,



intercanvi de repos.

# SR-DBA operation

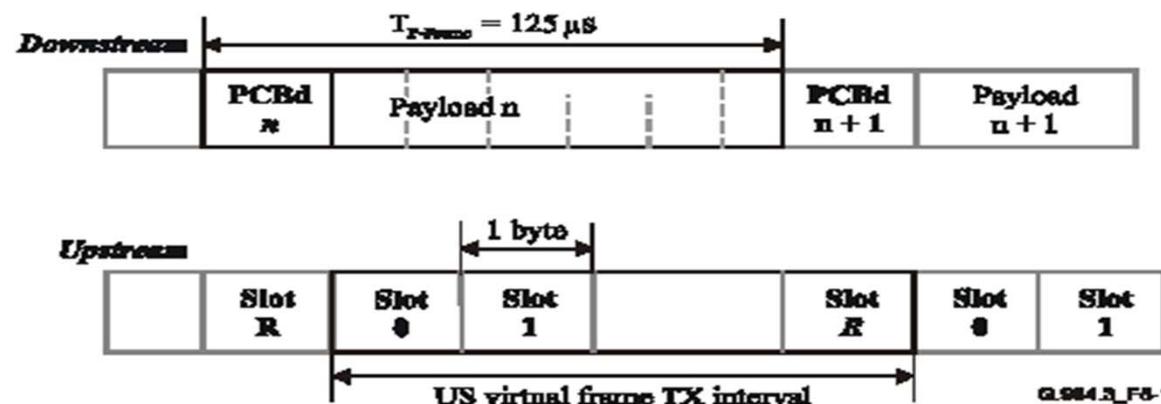
la gestió de tot la fa l'OLT



# Frame structure

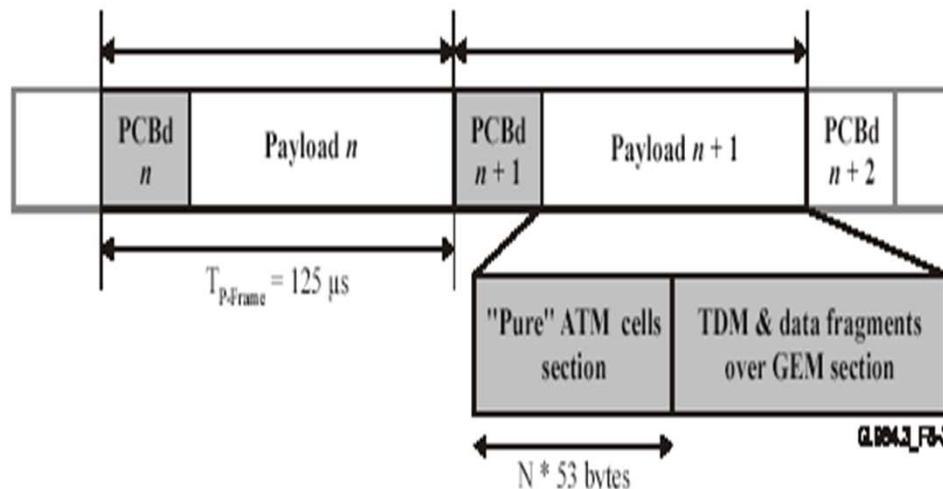
trames de 125microsegons

dins del payload van les trames (GEM normalment o ATM)



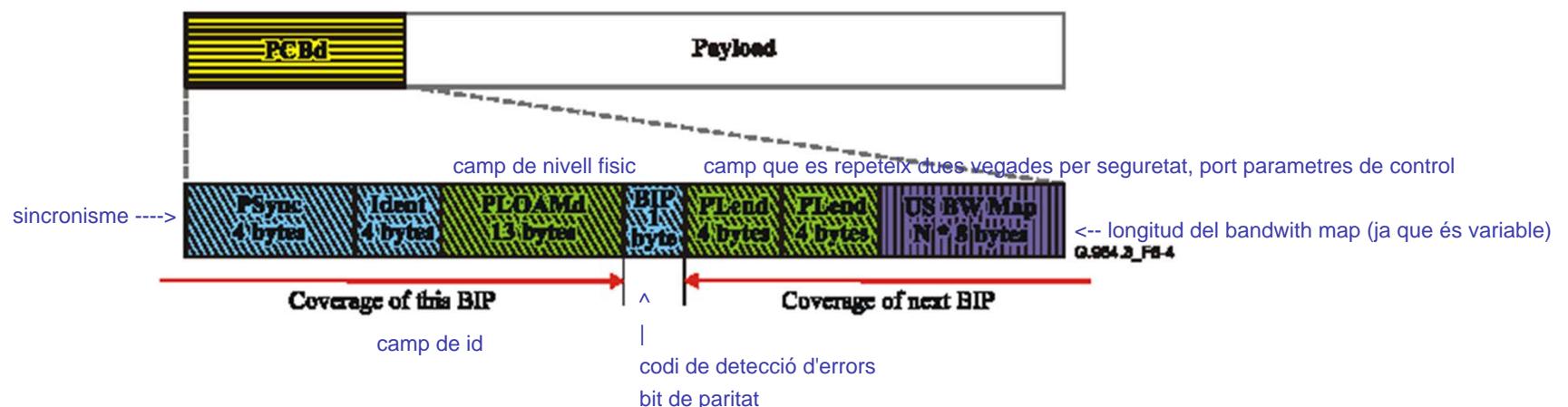
headers amb més detall

# Downstream frame



<- dos tipus de trama que poden anar ala payload

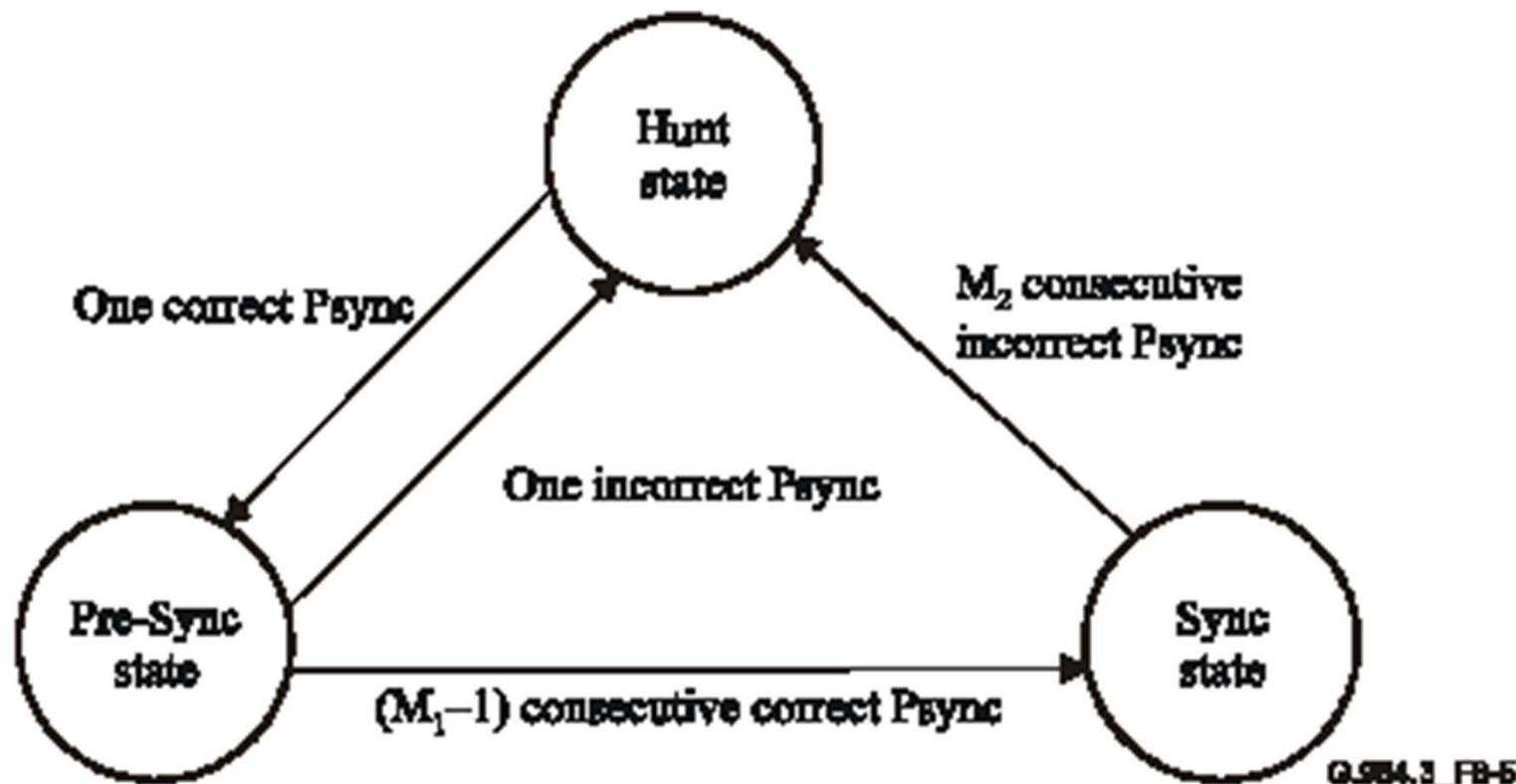
les ATM son de longitud fixa, i GEM són de longitud variable



# Downstream synchronization

doc GPON  
p3

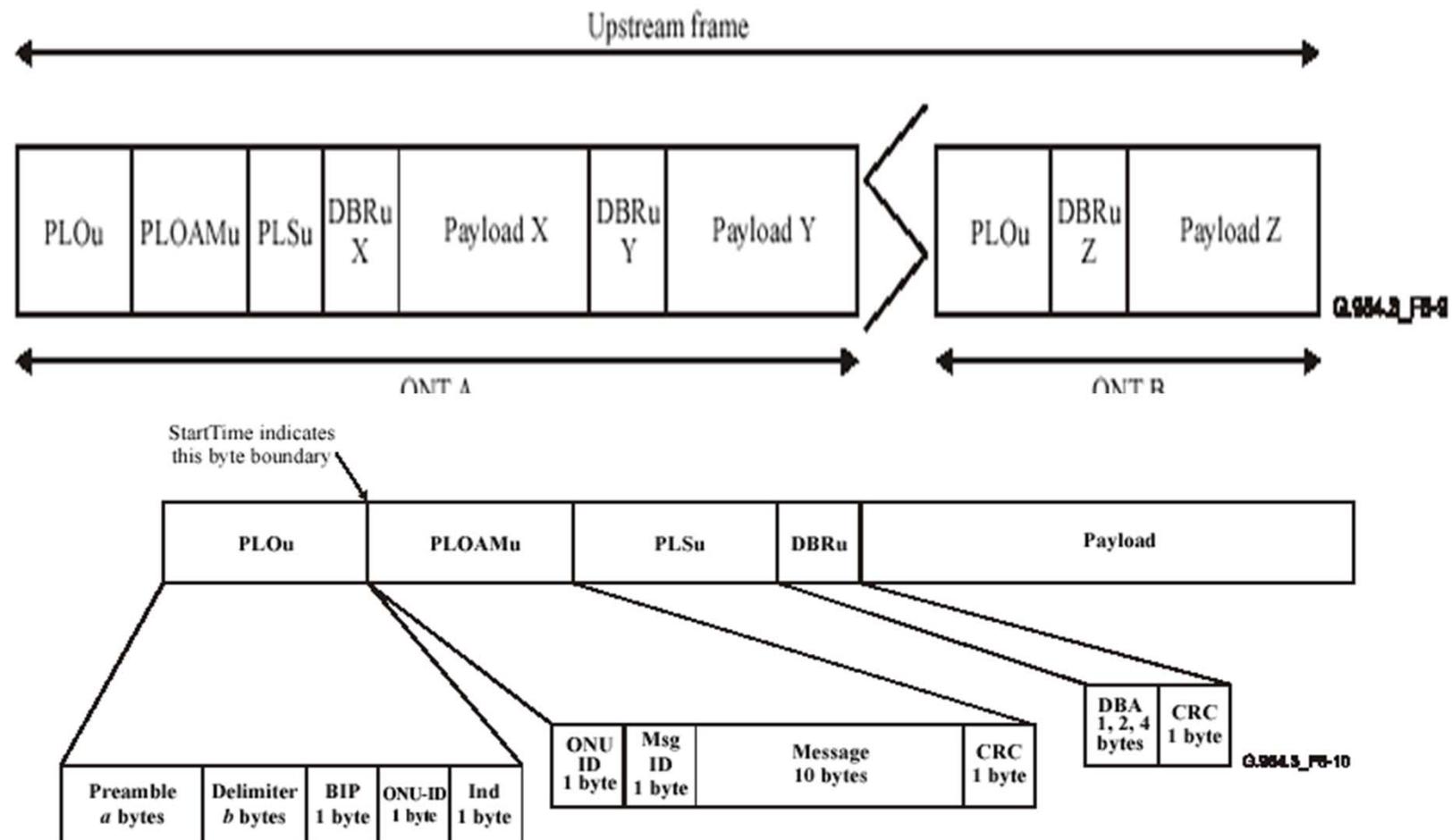
fa servir un sistema similar al de ATM.



ONU-IN --> quants ONU  
 allocID --> servei (s'utilitza per GRANTS)  
 port-ID --> identifica el terminal o servei final

# Upstream frame

doc GPON  
 p8



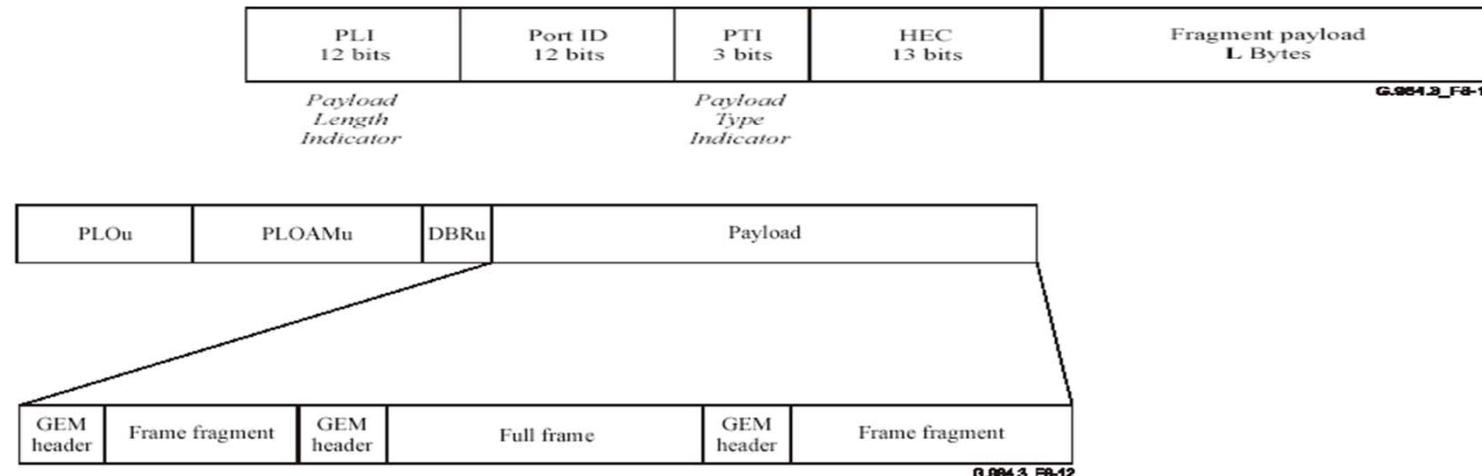
Inden meés detall a la següent slide

# IND field

doc GPON  
p9

Bit position	Function
7 (MSB)	Urgent PLOAMu waiting (1 = PLOAM waiting, 0 = no PLOAMs waiting)
6	FEC status (1 = FEC ON, 0 = FEC OFF)
5	RDI status (1 = Defect, 0 = OK)
4	Traffic waiting in type 2 T-CONTs
3	Traffic waiting in type 3 T-CONTs
2	Traffic waiting in type 4 T-CONTs
1	Traffic waiting in type 5 T-CONTs
0 (LSB)	Reserved

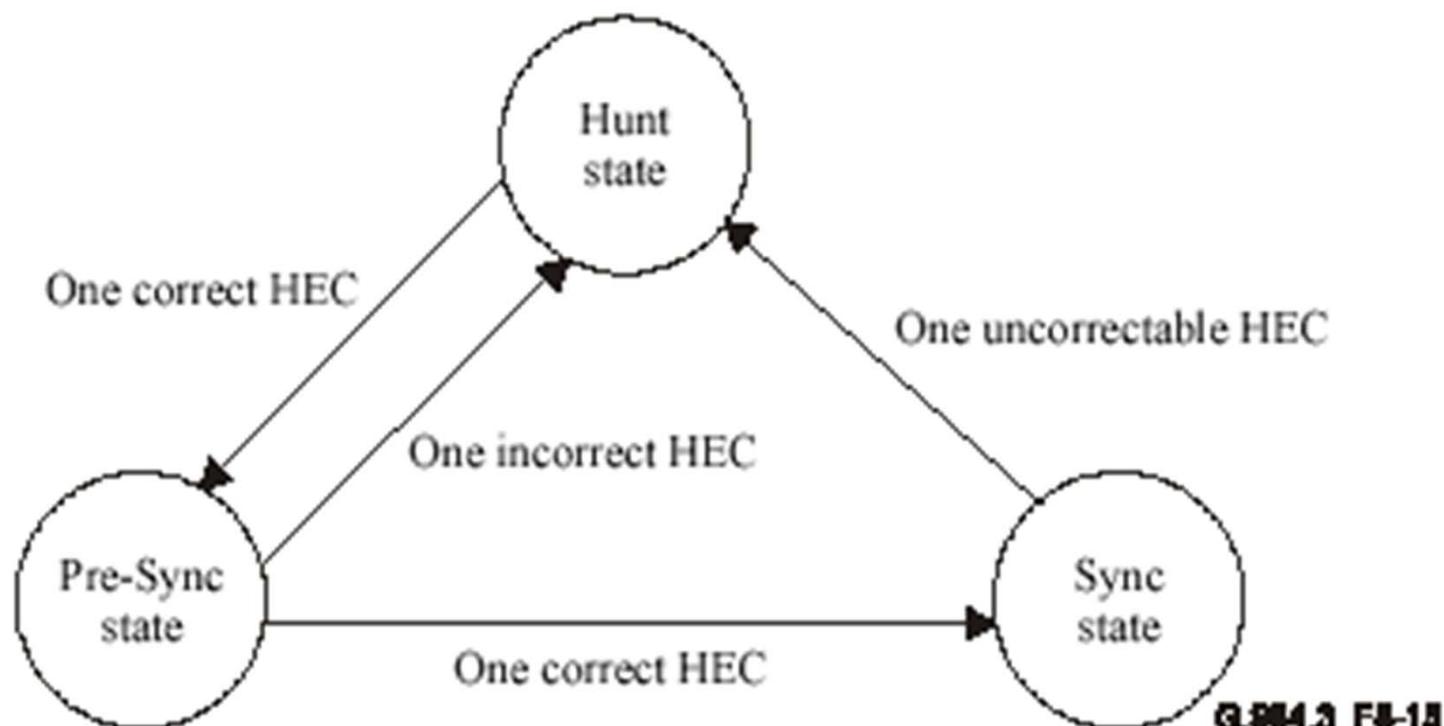
# GEM upstream payload



PTI code	Meaning
000	User data fragment, Congestion has Not occurred, Not the end of a frame
001	User data fragment, Congestion has Not occurred, End of a frame
010	User data fragment, Congestion Has occurred, Not the end of a frame
011	User data fragment, Congestion Has occurred, End of a frame
100	GEM OAM
101	Reserved
110	Reserved
111	Reserved

# GEM delineation

doc GPON  
p14



# Report formats

doc GPON  
p19

Mode 0:

Alloc-ID 12 bits	MI 2b	MI 2b	Field1 8 bits	CRC-8 8 bits
---------------------	----------	----------	------------------	-----------------

Mode 1:

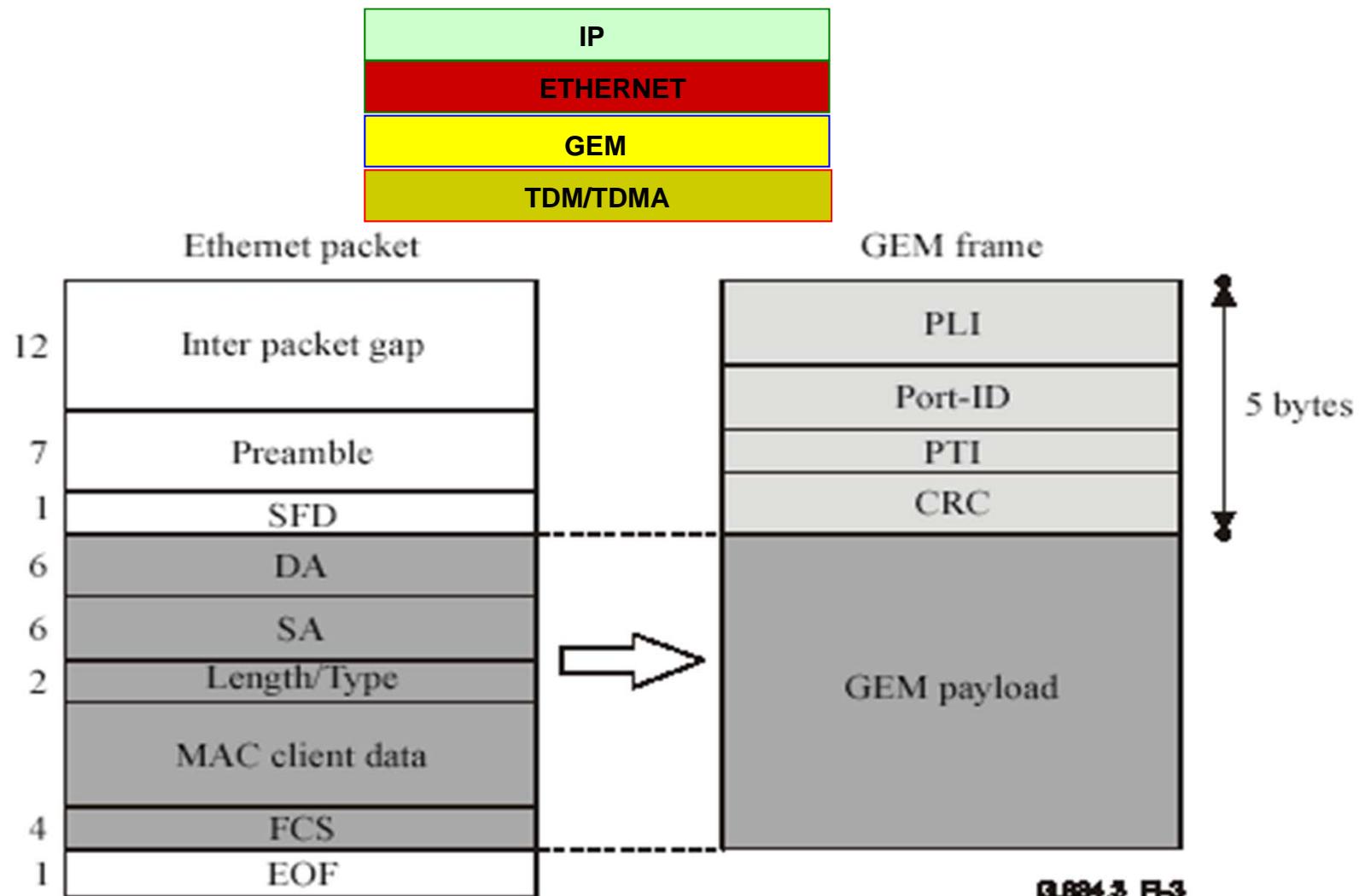
Alloc-ID 12 bits	MI 2b	MI 2b	Field1 8 bits	Field 2 8 bits	CRC-8 8 bits
---------------------	----------	----------	------------------	-------------------	-----------------

Mode 2:

Alloc-ID 12 bits	MI 2b	MI 2b	Field1 8 bits	Field 2 8 bits	Field3 8 bits	Field4 8 bits	CRC-8 8 bits
---------------------	----------	----------	------------------	-------------------	------------------	------------------	-----------------

Q.884.3\_F5-18

# Ethernet over GEM





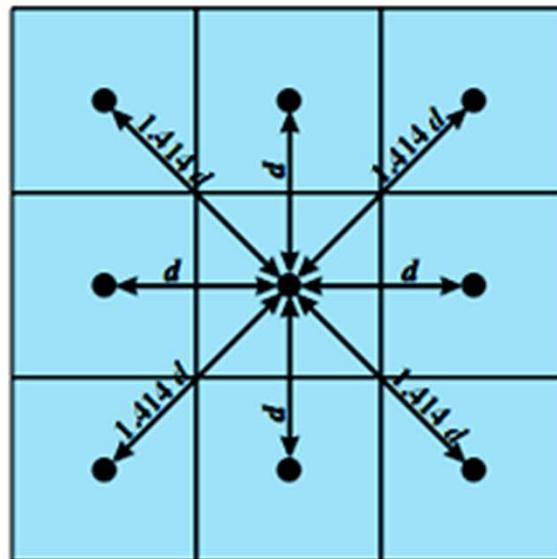
La tecnologia relacionada amb el món mòbil, està molt relacionada amb el que hem vist fins ara,  
sobretot a nivell 2.

l'accés és via radio, a través de l'atmosfera  
les freqüències estan regulades. i es reparteixen entre operadors

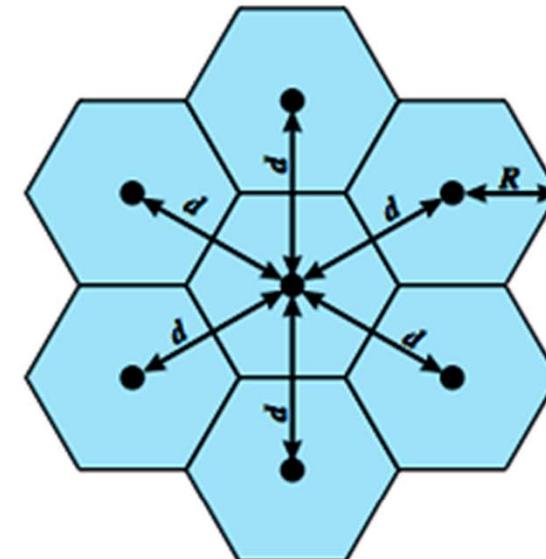
## 4.4 Mòbils

# Cellular Geometries

- el concepte de cel·lular és dividir una zona geogràfica en zones (cel·les) en les que repartir les freqüències. i a cada una hi ha una torre base.
  - Les cel·les contigues no poden tenir les mateixes freq, però entre cel·les o-contigues es poden repetir freqüències. no s'interfereixen perquè la potència no arriba fins a zones no contigues.
- els mòbils poden modificar la potència amb la que transmet en funció de la distància fins a la torre, i quan es canvia de cel·la es canvia de freqüència.



(a) Square pattern

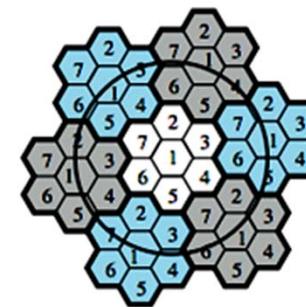
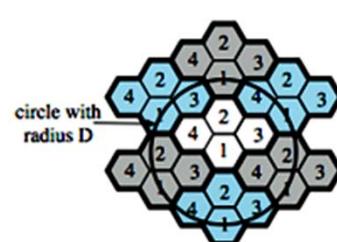


(b) Hexagonal pattern

el disseny hexagonal permet que una tingui la mateixa distància a centre de les col·lindents

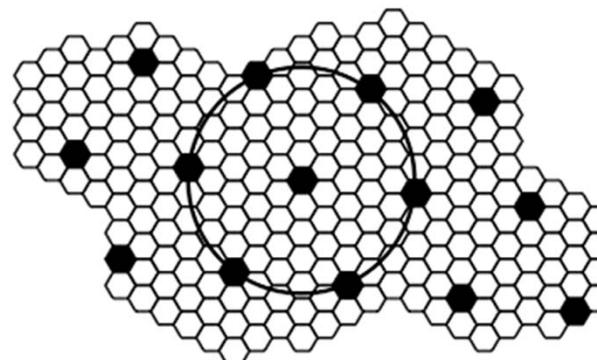
# Frequency Reuse Patterns

es poden definir direfents criteris alhora de distribuir freqs en cel·les



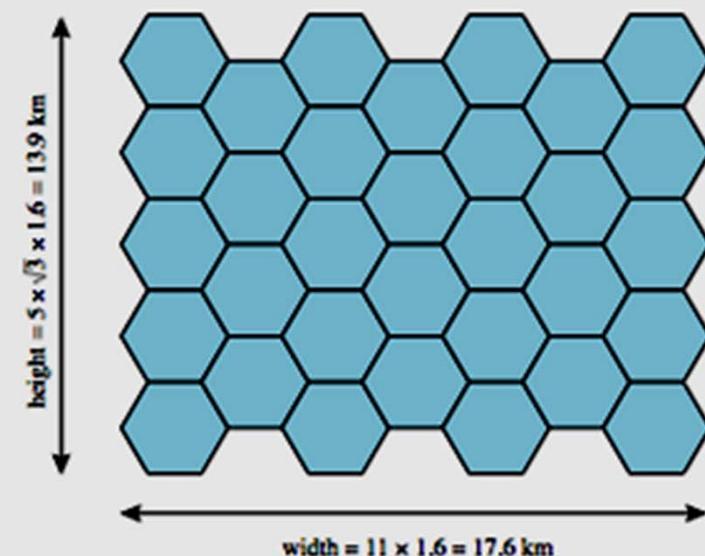
(a) Frequency reuse pattern for  $N = 4$

(b) Frequency reuse pattern for  $N = 7$

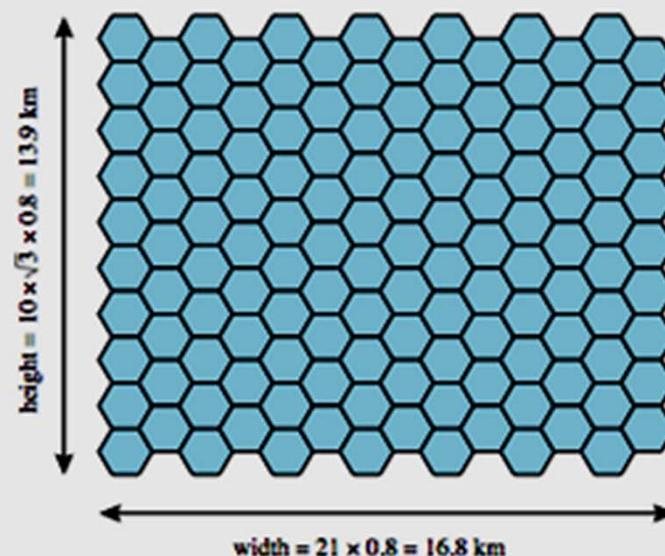


(c) Black cells indicate a frequency reuse for  $N = 19$

# Frequency Reuse Example



(a) Cell radius = 1.6 km



(b) Cell radius = 0.8 km

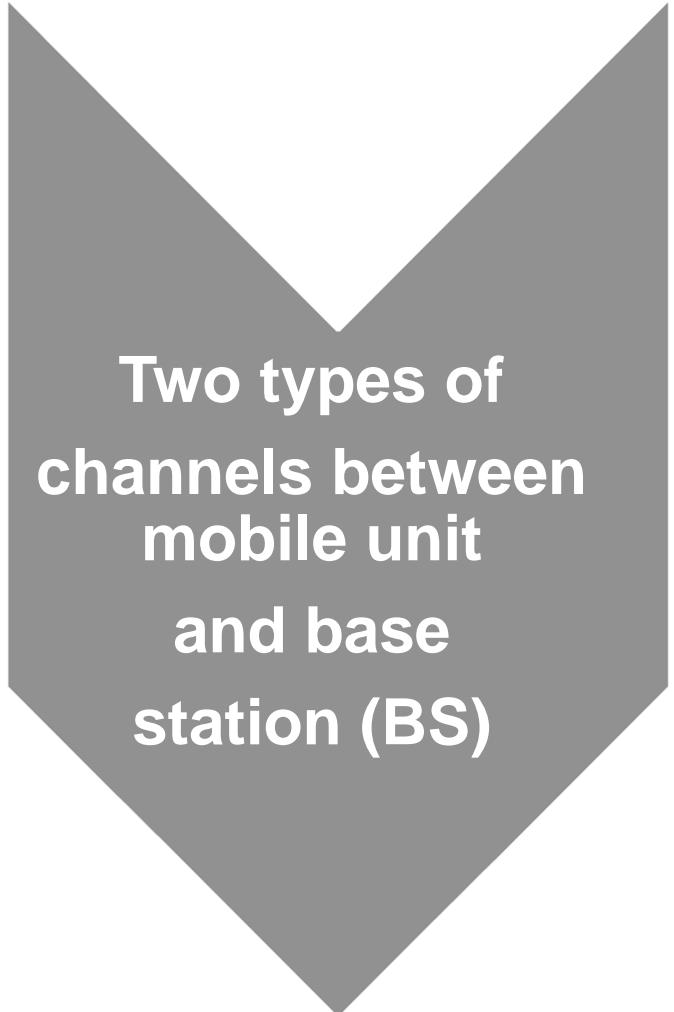
aquest té molta més capacitat de tràfic, perquè té més cel·lules  
i per tant més repartició de freqs.  
implica tenir més torres

a les xarxes celulares hi ha 2 canals: els de control i els de tràfic.

per accedir al medi cmpatit -> CSMA

el el es fa és enviar les reuquests per trasmetre pels canals de tràfic. les de control són els de gestió de la xarxa

# Cellular System Channels



Two types of channels between mobile unit and base station (BS)

- **Control Channels**
  - set up and maintain calls
  - establish relationship between mobile unit and nearest BS
- **Traffic Channels**
  - carry voice and data

# Wireless Network Generations

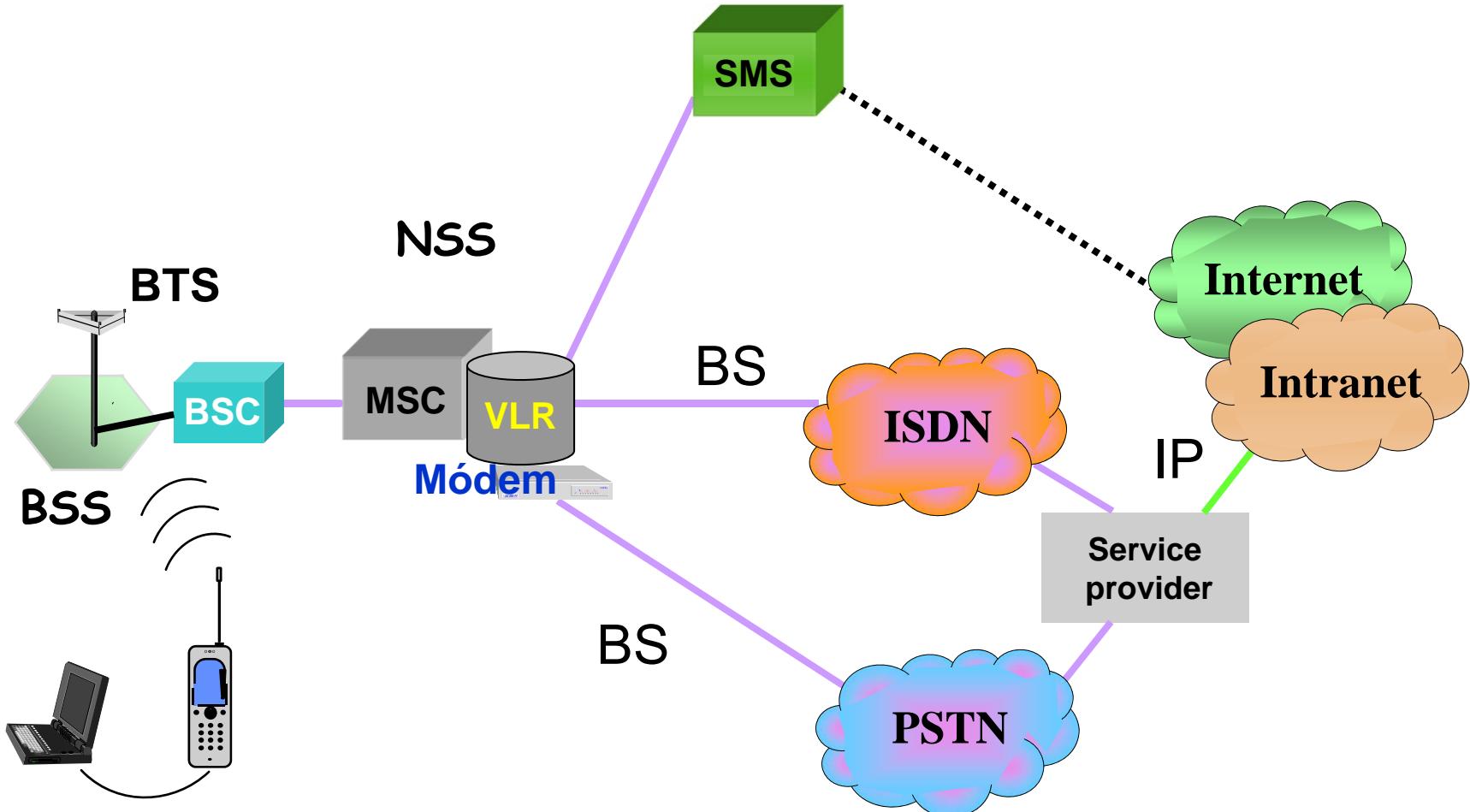
Technology	1G	2G	2. 5G	3G	4G
	GSM, veu commutació de circuits	GPRS, veu+dades commutació de paquets			4G : les portadores son ortogonals, +eficient le que passa és que mb un mateix ample de banda podem posar + portadores, i no s'interfereixen entre elles si son ortogonals. i cel·les més petites
Design began	1970	1980	1985	1990	2000
Implementation	1984	1991	1999	2002	2012
Services	Analog voice	Digital voice	Higher capacity packetized data	Higher capacity, broadband	Completely IP based
Data rate	1.9. kbps	14.4 kbps	384 kbps	2 Mbps	200 Mbps
Multiplexing	FDMA	TDMA, CDMA	TDMA, CDMA	CDMA	OFDMA, SC-FDMA
Core network	PSTN	PSTN	PSTN, packet network	Packet network	IP backbone

PTSN: public switching telephone network

3G : en una cel·la diferents usuaris poden fer servir la mateixa freq.  
(però diferents entre cel·les contigues)  
+ample de banda i millor relació senyal/soroll --> +velocitat

NO

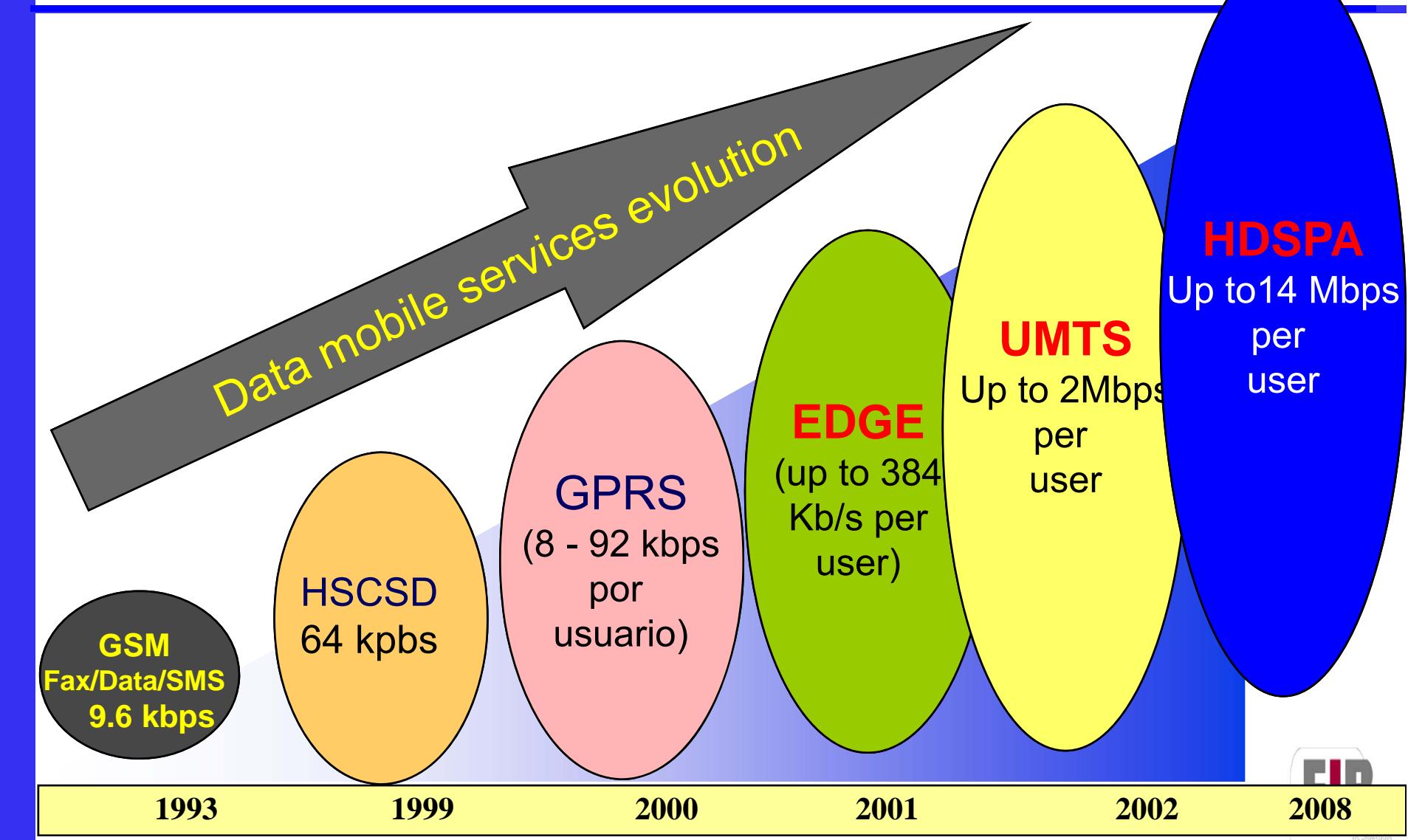
# GSM data transmission



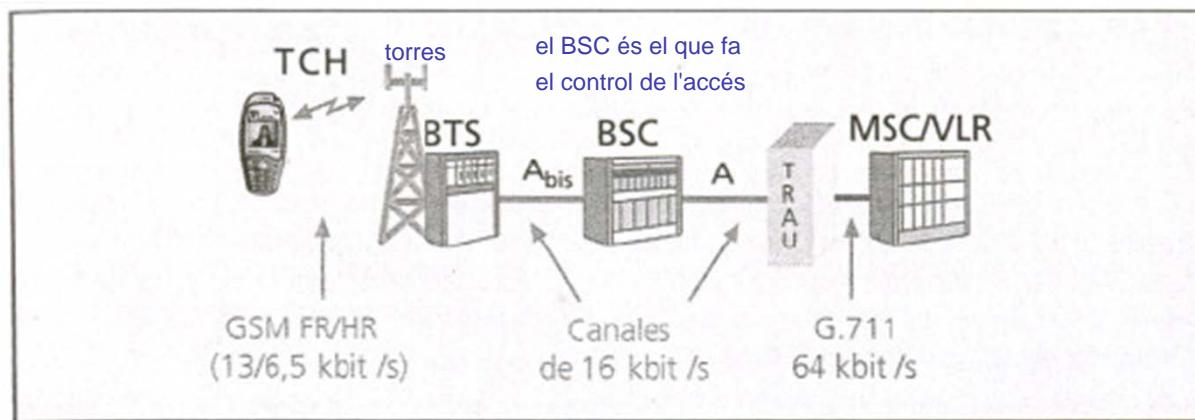
4G/LTE 2013

NO

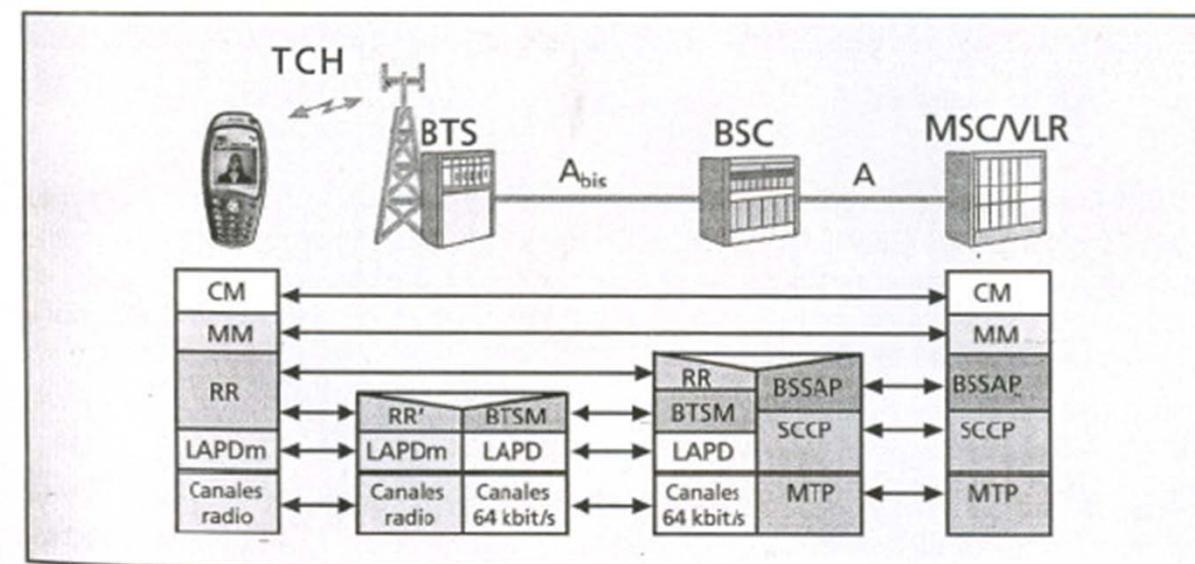
# Technology evolution



# GSM

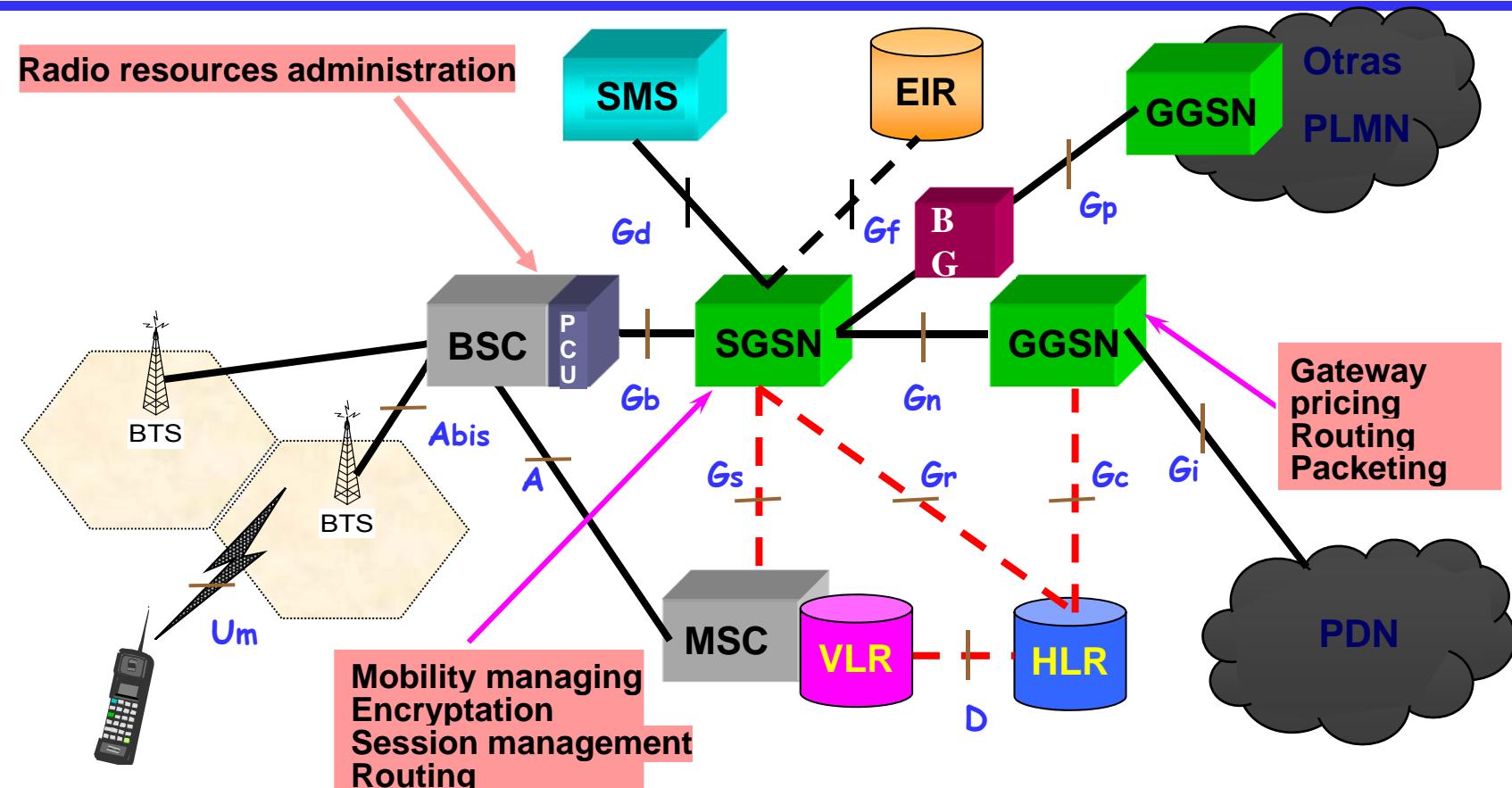


Voice transport  
GSM



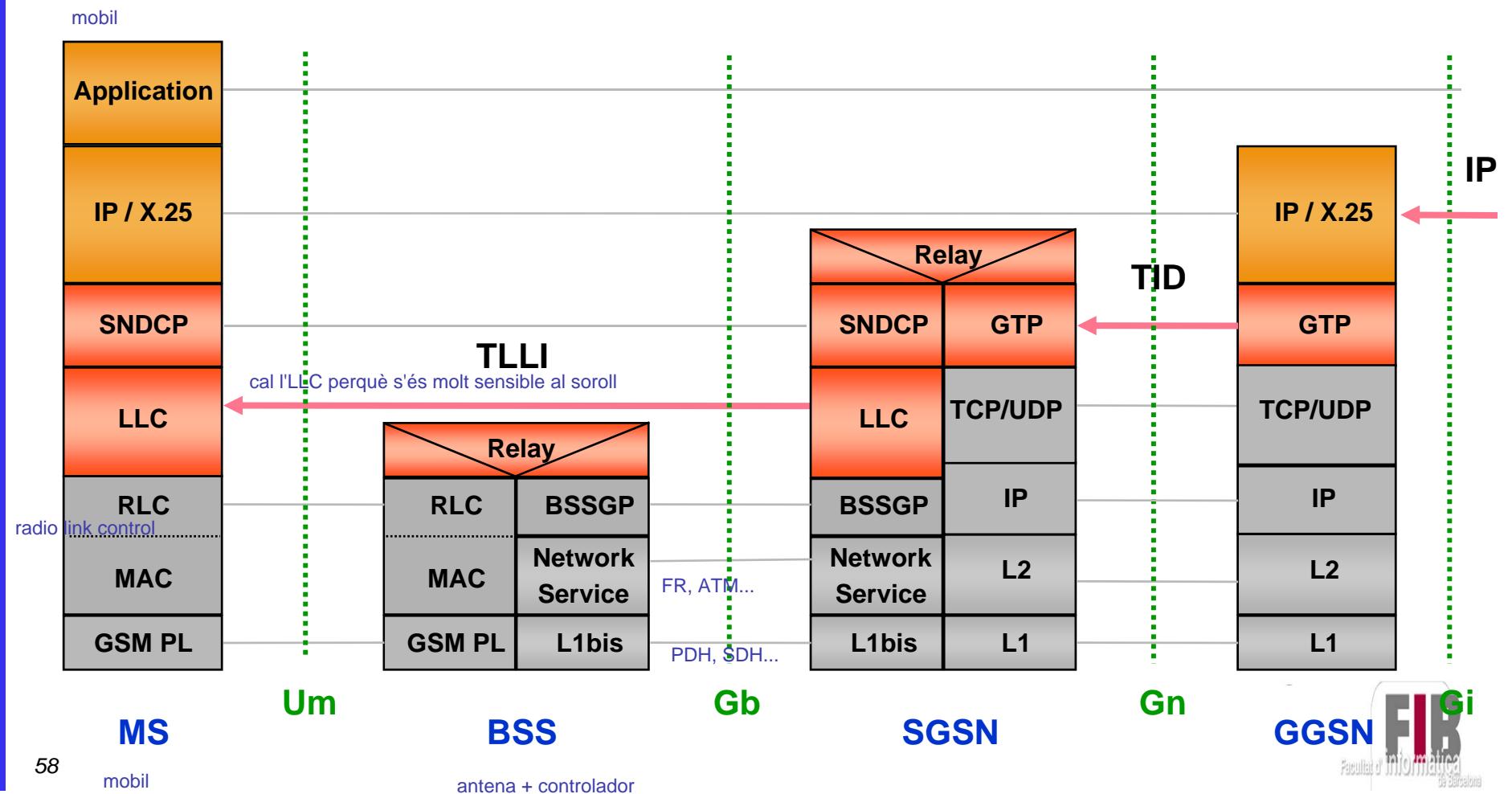
Signaling  
architecture GSM  
access network

# GPRS system architecture

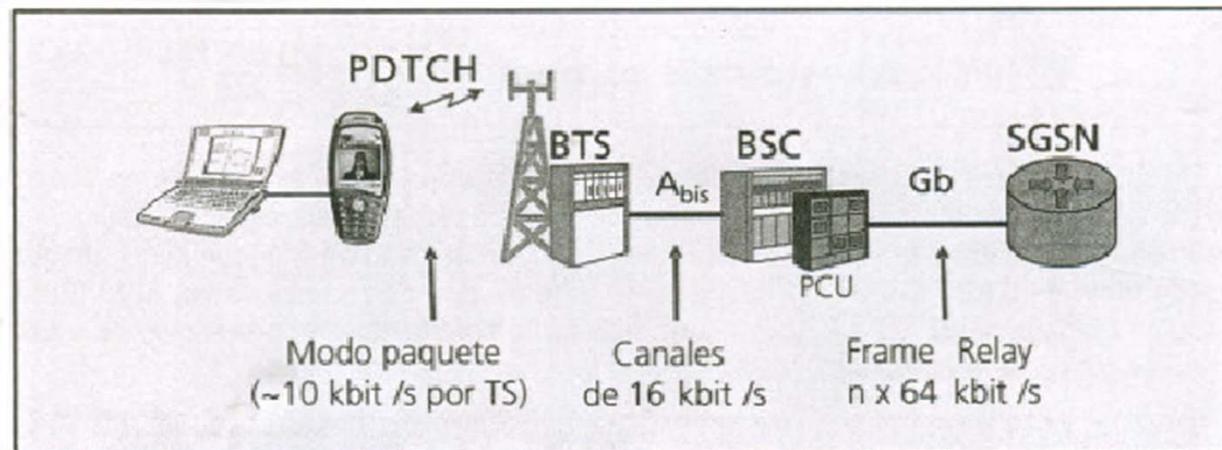


# Protocol stack GPRS

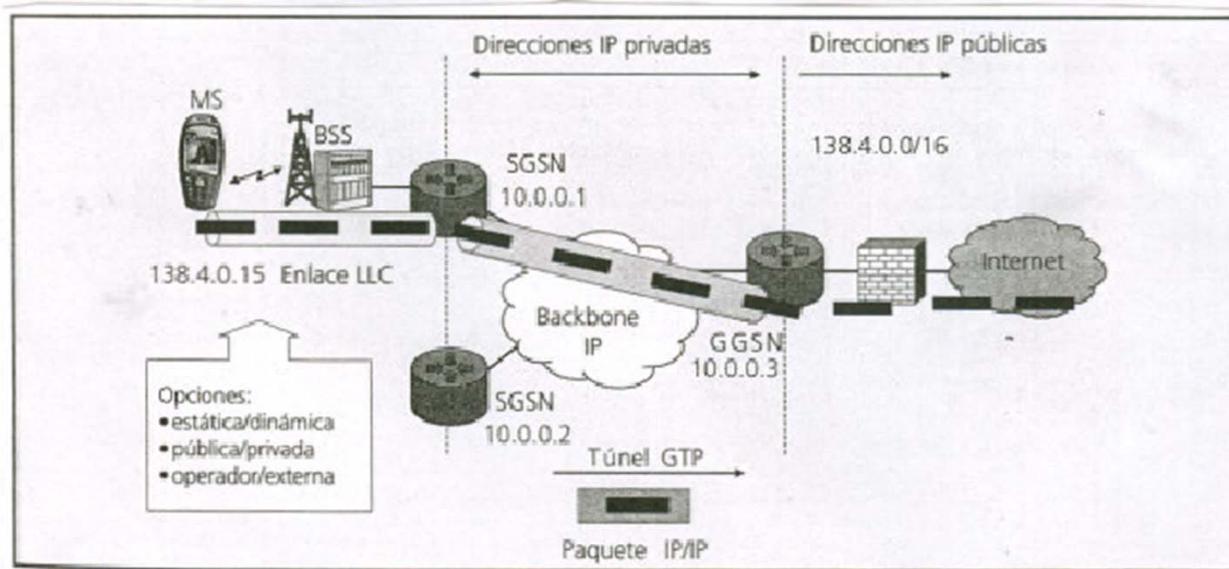
- User plane



# GPRS

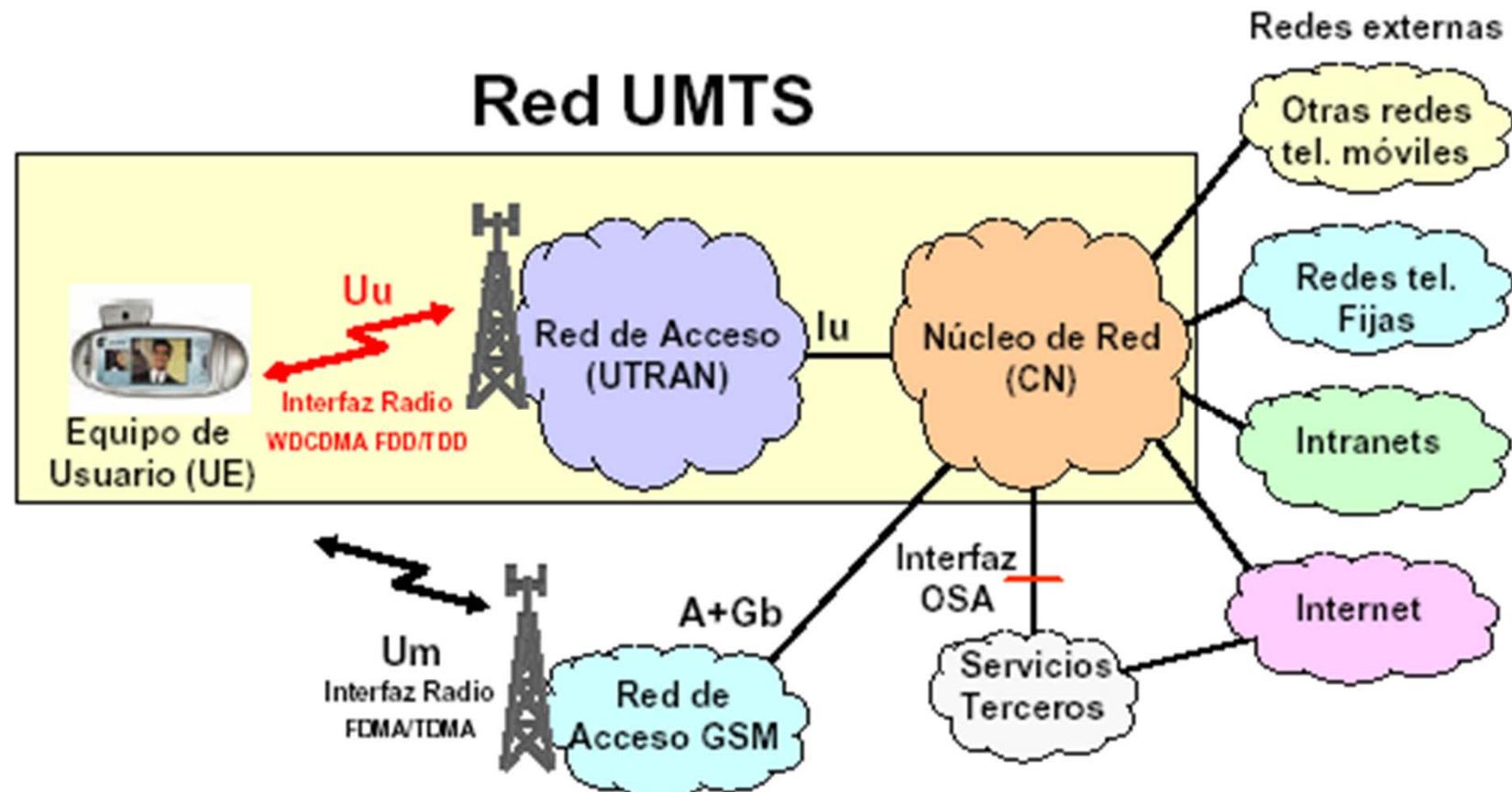


**Data transport**



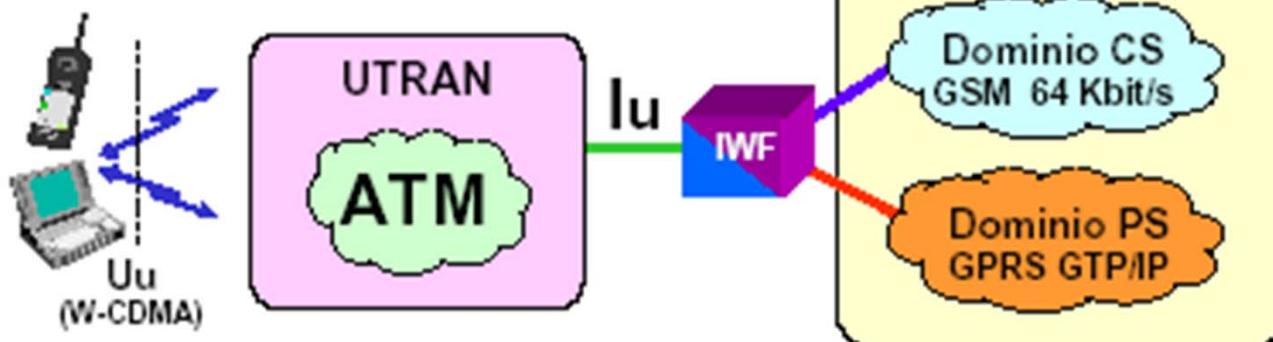
**Tunneling**

# UMTS architecture



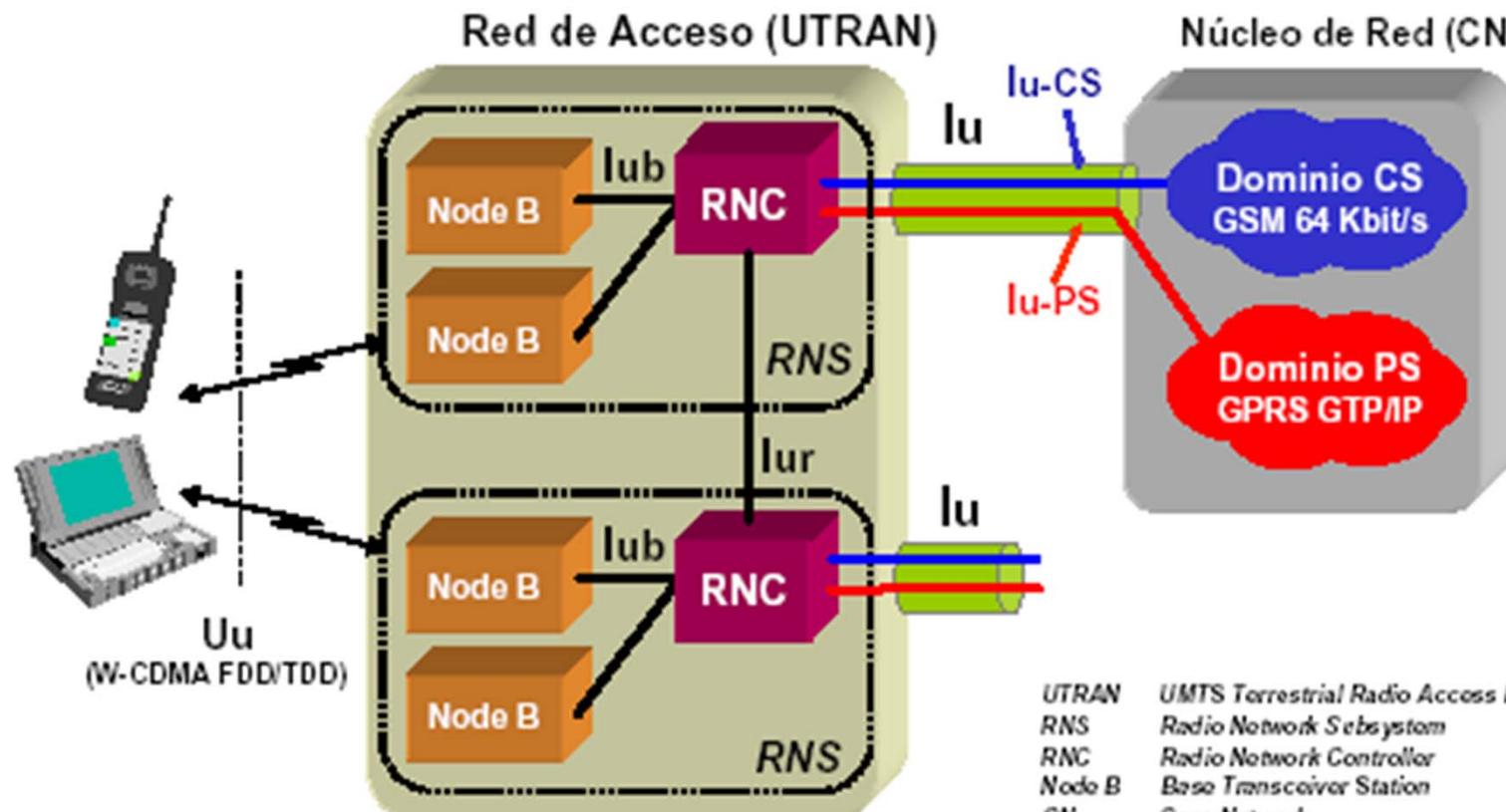
# UMTS switching

CS Circuit Switched  
PS Packet Switched  
MF Interworking function

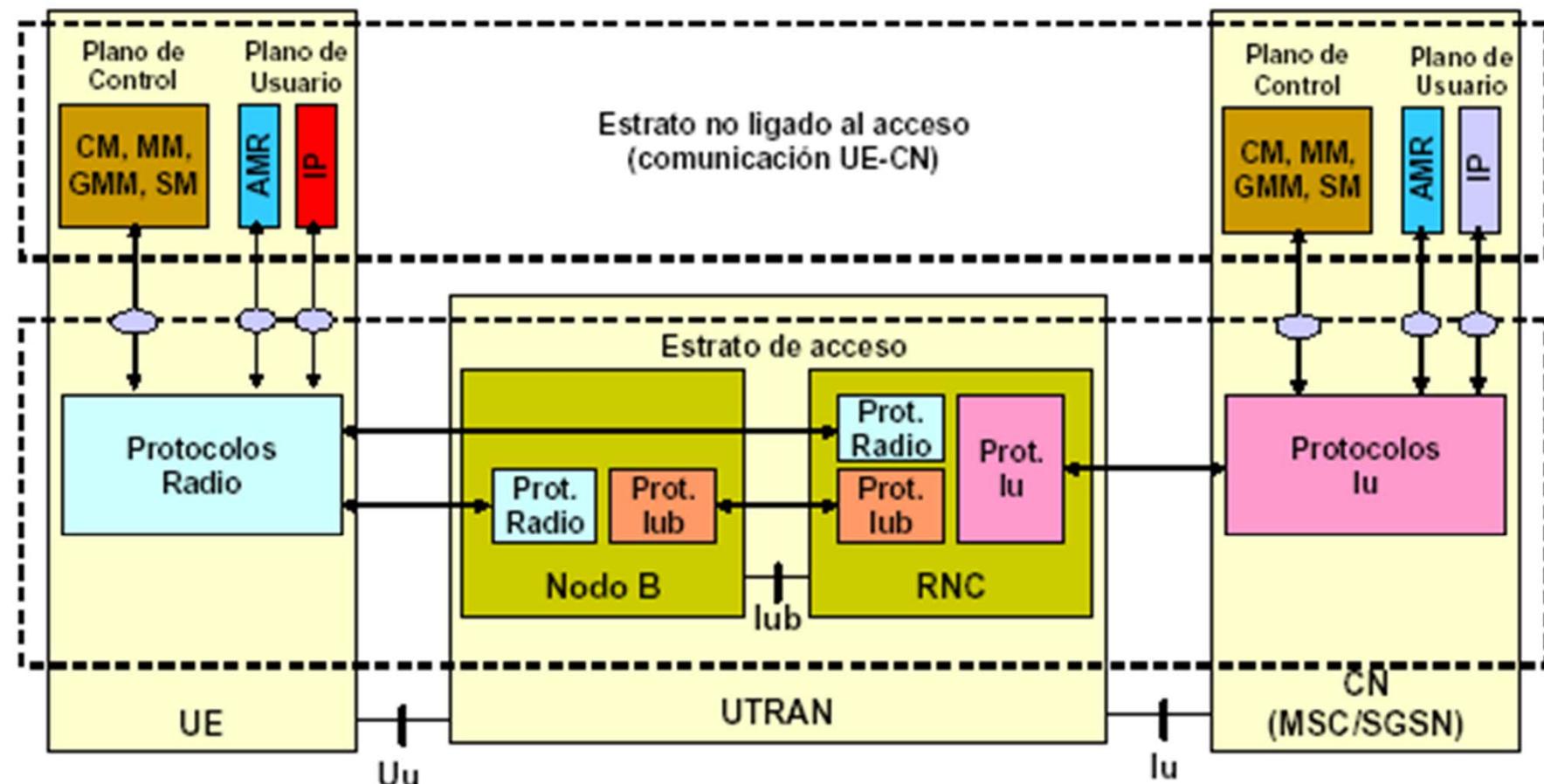


- ▶ Interfaz radio (Uu) WCDMA FDD/TDD
- ▶ Red de acceso radio basada en ATM / Ethernet
- ▶ Núcleo de red basado en GSM/GPRS
  - Reutilización de infraestructura disponible
  - Necesidad de adaptación en el interfaz Iu

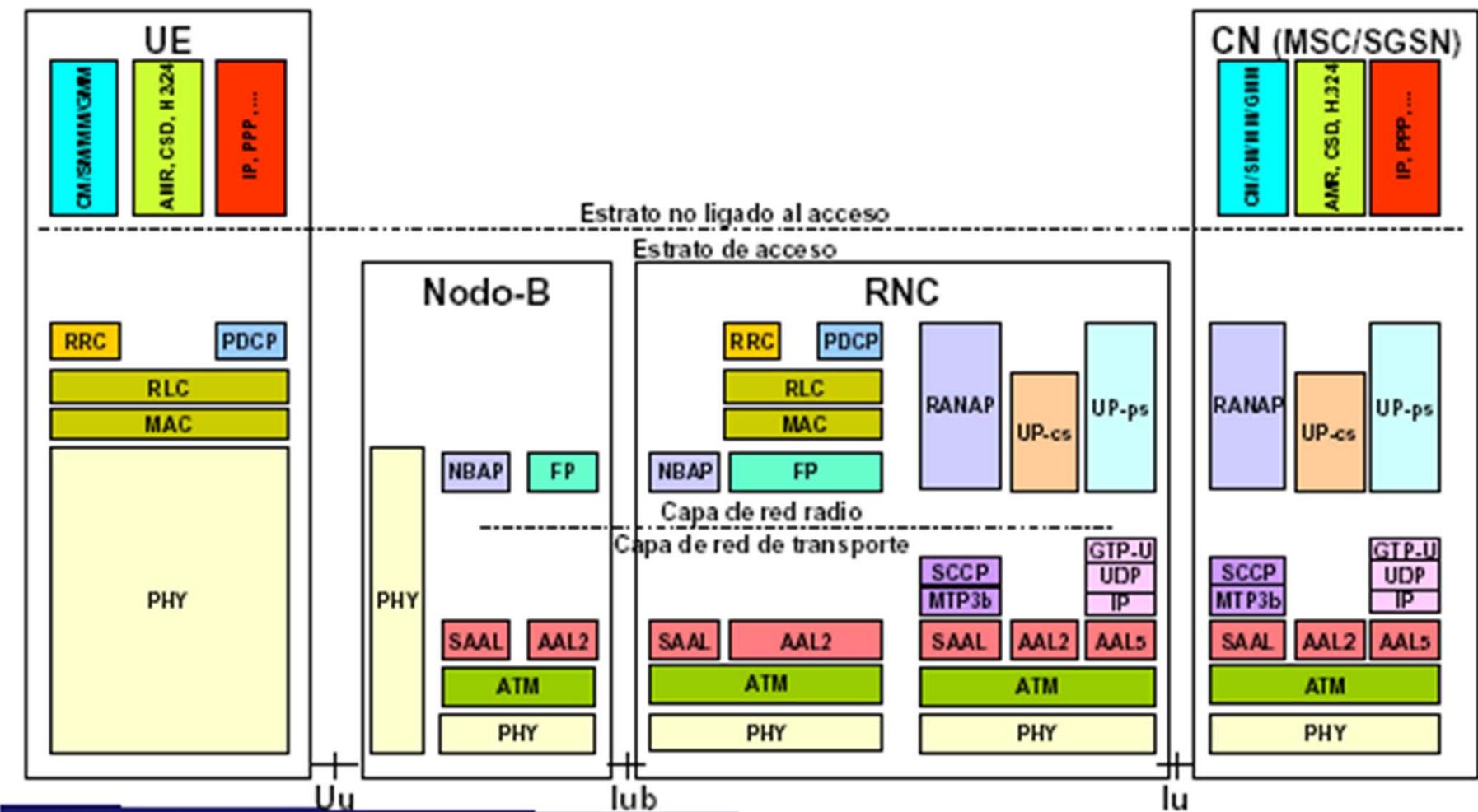
# Access network



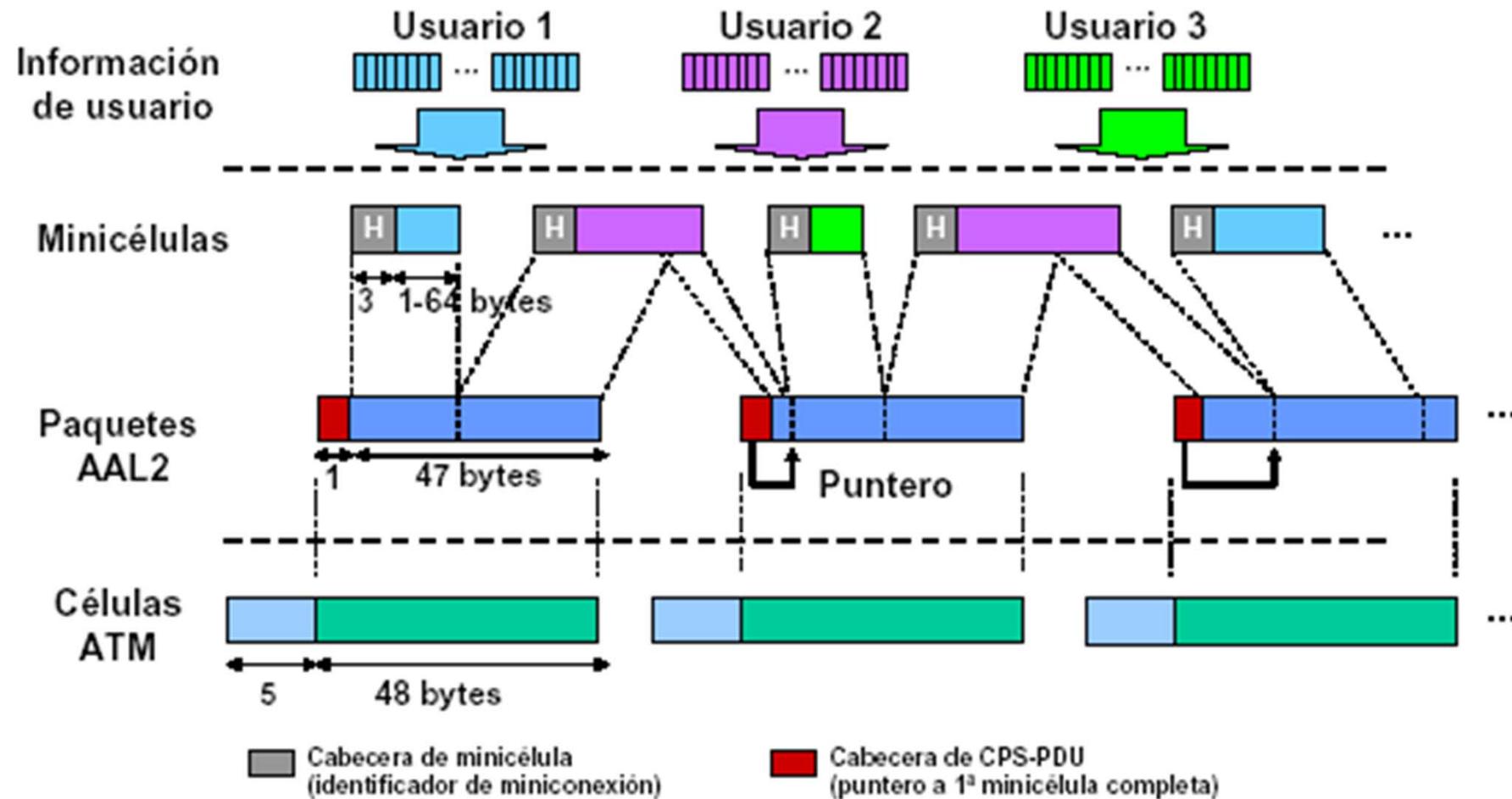
# Protocols UTRAN (1)



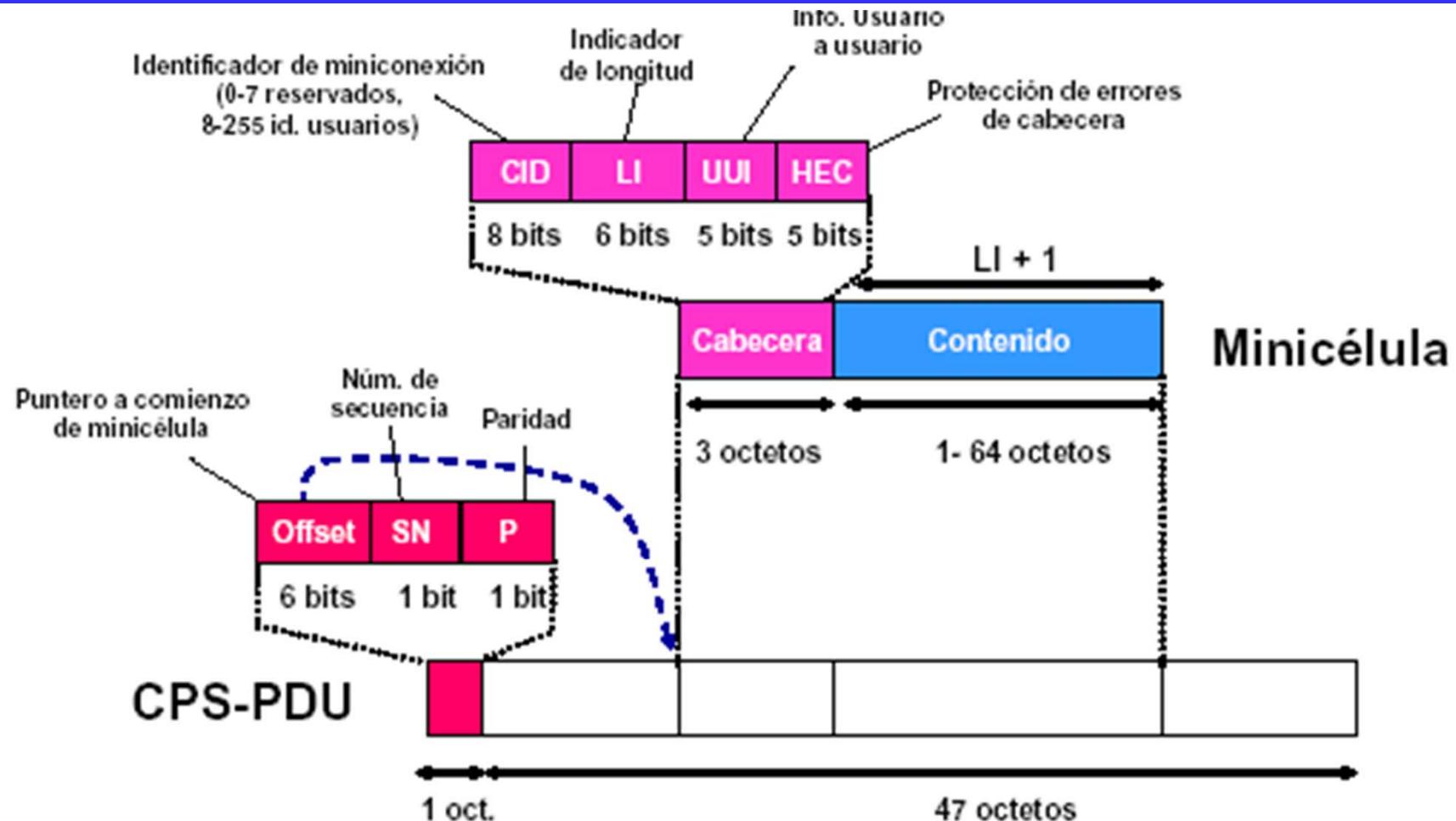
# Protocols UTRAN (2)



# Protocol AAL2



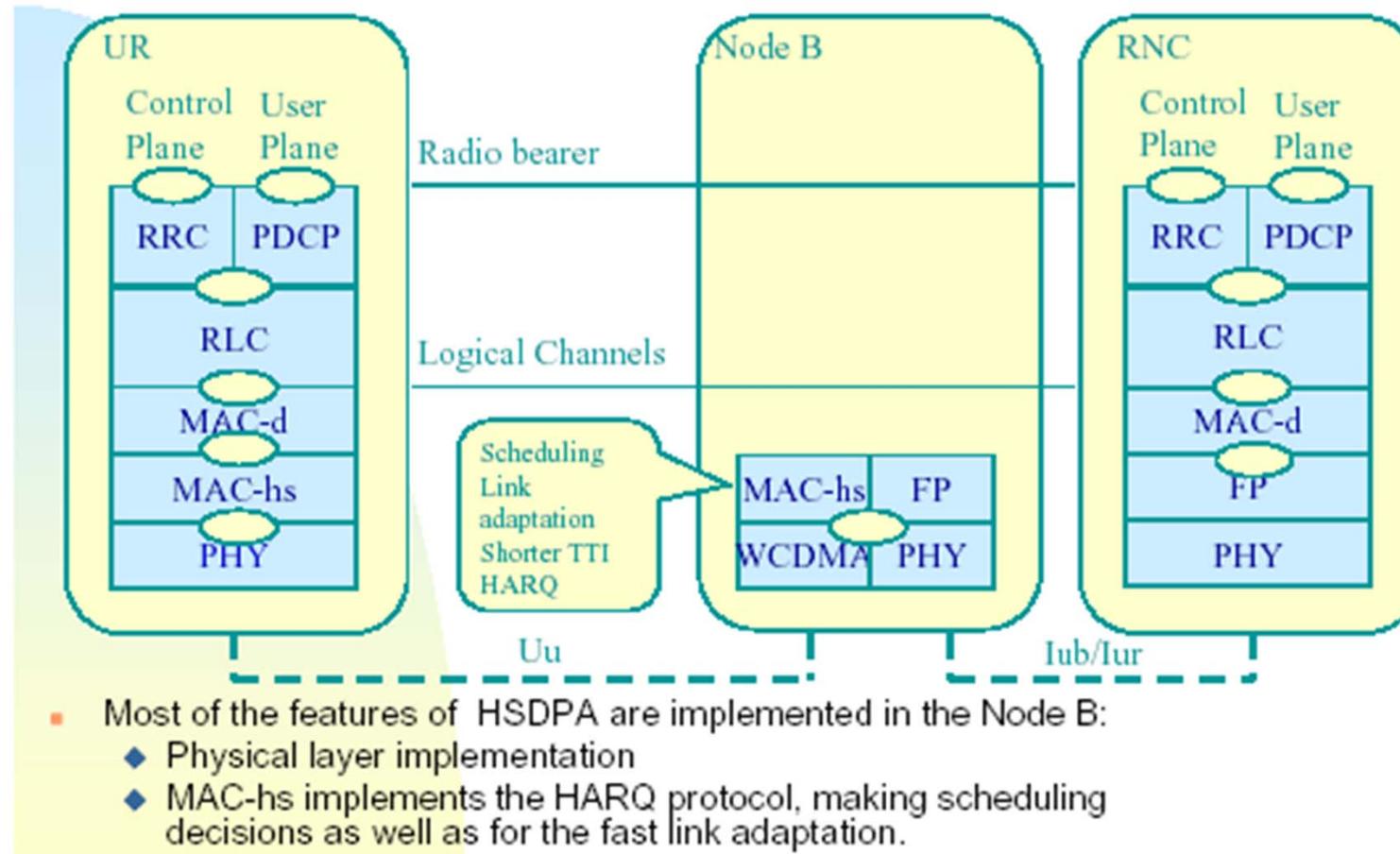
# AAL2 header



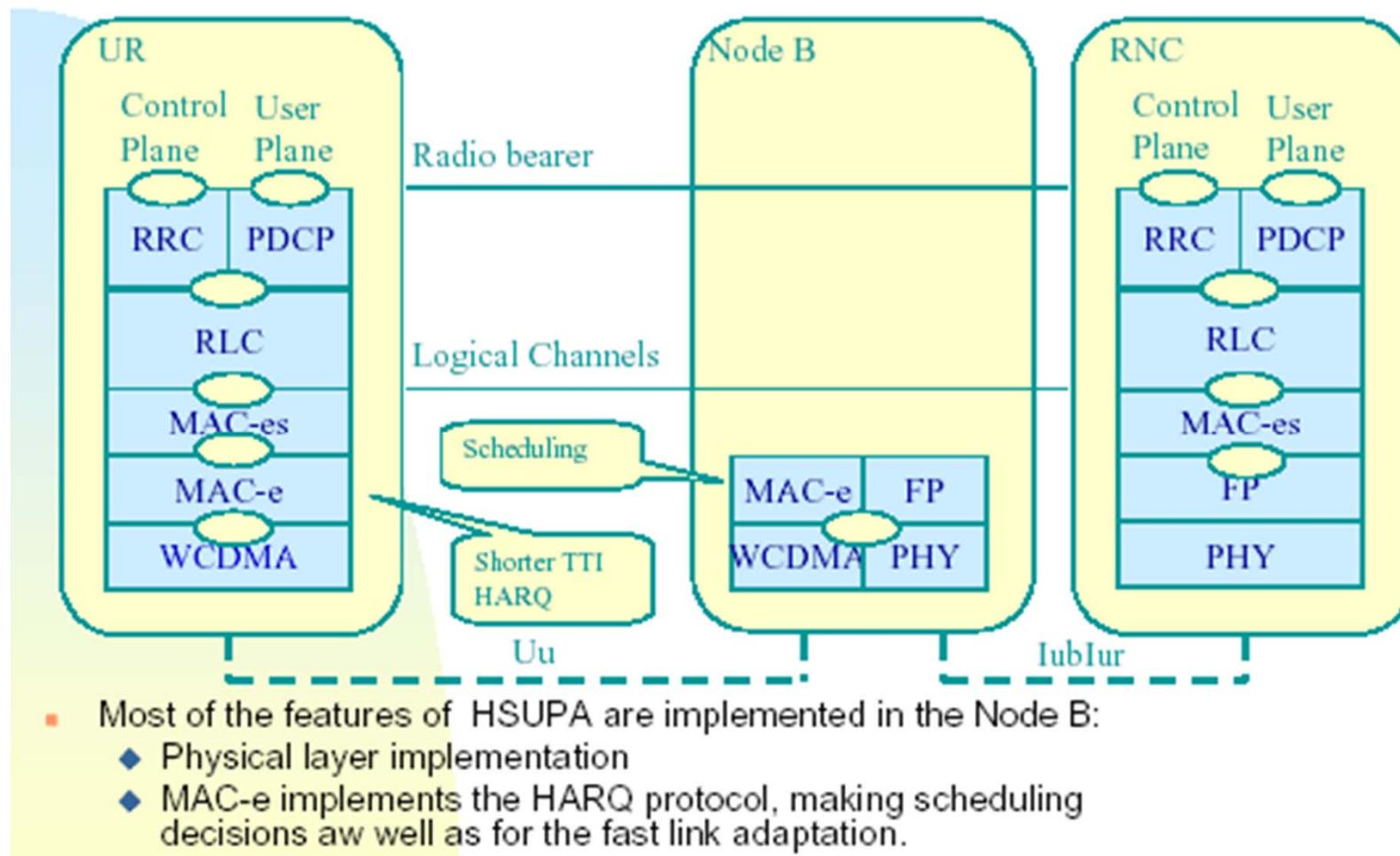
# HSPA (High Speed Packet Access)

- In order to improve the packet data performance, the UMTS systems have been enhanced with HSPA.
- HSPA consists of two components, HSDPA and HSUPA:
- □ In the DL a new shared transport channel, the HS-DSCH
  - □ It allows to assign all available resource to one or more users in an efficient manner.
  - □ HS-DSCH does no adjust to transmission power for each user, but rather adapts the rate to match the current channel conditions.
- □ In the UL dedicated channels have been enhanced: E-DCHs
  - □ Even though the UL channels are dedicated, the UL resources can be shared between users in an efficient manner.

# HSDPA: Protocol architecture

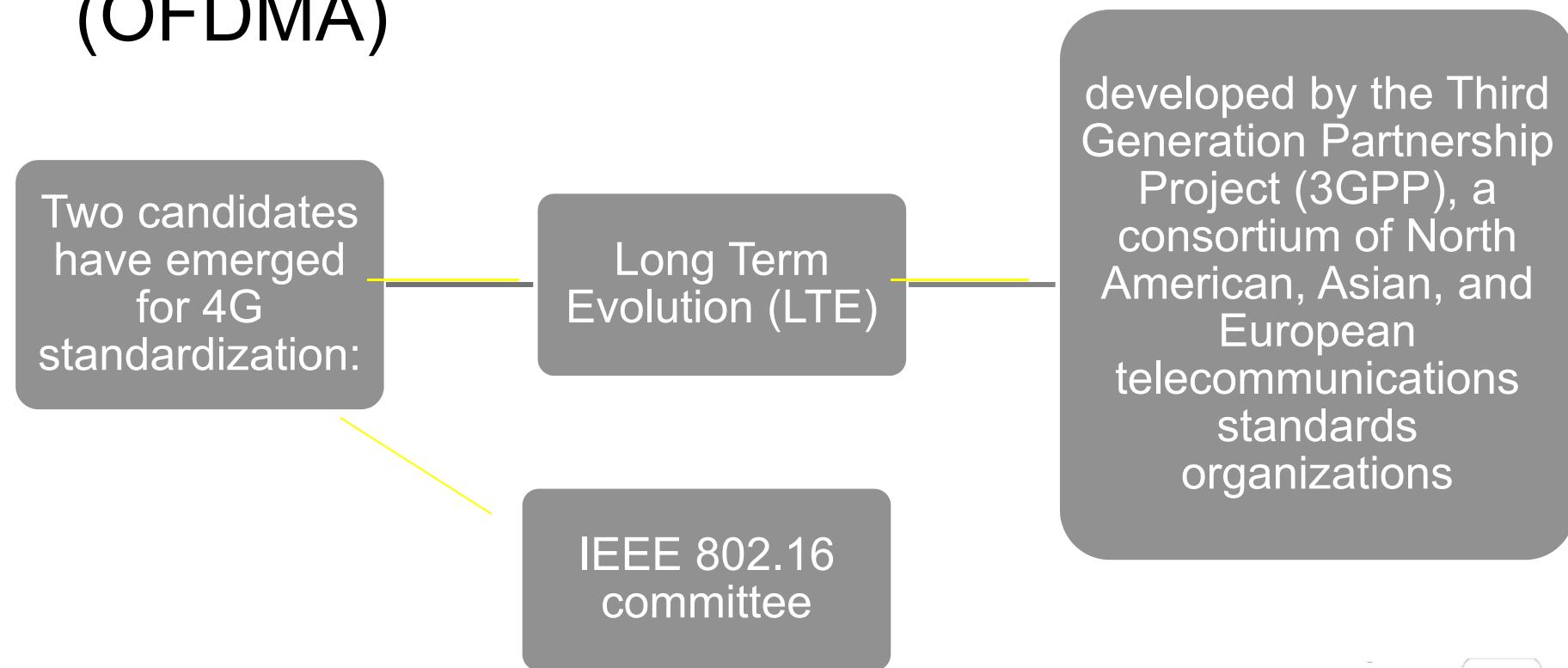


# HSUPA: Protocol architecture

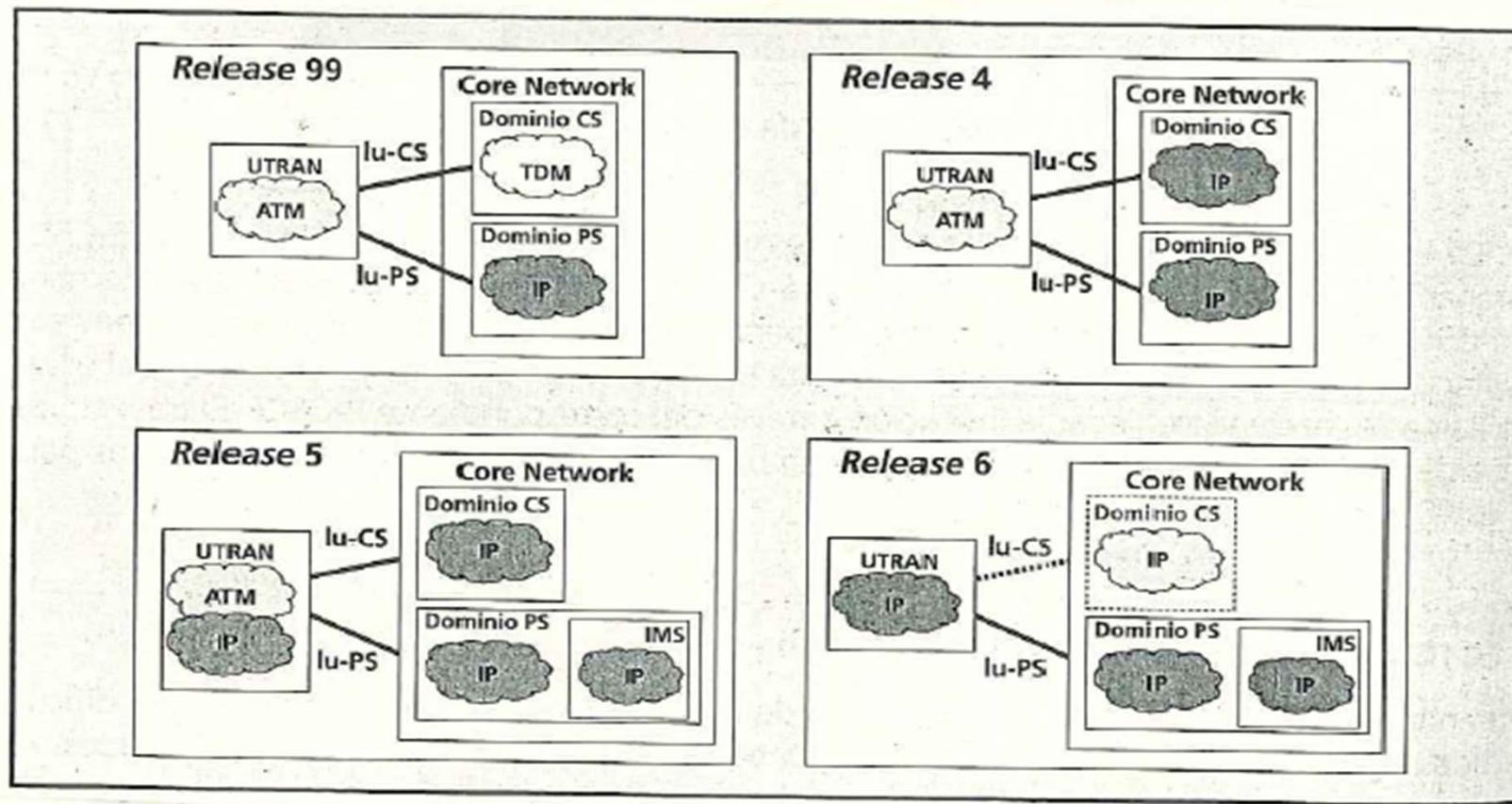


# 4G Development

- Both based on use of orthogonal frequency division multiple access (OFDMA)



# Evolution towards all IP networks



# Final stage

