



Televisión Digital: fundamentos, estándares y multiplexación

Dr. Luis Salgado

L.Salgado@gti.ssr.upm.es

Grupo de Tratamiento de Imágenes

E.T.S. Ing. Telecomunicación

Universidad Politécnica de Madrid

E-28040 Madrid

<http://www.gti.ssr.upm.es>



Índice

- Introducción.
- El Marco DVB.
- Compresión de audio.
- Compresión de vídeo.
- Calidades.
- Organización del múltiplex.
- Codificación de canal y modulación.
- Multiplexación estadística.



Introducción: objetivos?

Objetivos para el usuario:

- Máxima calidad en la recepción (... la calidad DVD).
- Oferta variada, amplia y a coste nulo o bajo.
- Servicios adicionales... creación de mercado.

Objetivos para los operadores:

- Maximizar rentabilidad de los recursos explotados limitados... y caros.
 - ◆ Ancho de banda.
 - ◆ Complejidad de los IRDs.
- Ofrecer un nivel de calidad y contenidos suficiente para satisfacer al usuario.

Desarrollo de tecnología que permita solución de compromiso.

El Marco DVB

El proyecto Digital Video Broadcasting (DVB) ha generado los estándares necesarios para la difusión de Televisión Digital cubriendo diferentes aspectos fundamentales:

- Procesado banda base: codificación y multiplexación. Estándares considerados.
- Transmisión: considerando Satélite, Cable, Terrestre y Microondas.
- Acceso condicional (sólo algunos aspectos básicos).
- Servicios interactivos.

Regula fundamentalmente requisitos relacionados con la transmisión y recepción.

Señal de audio digital

Paradigma de calidad de audio:

- Banda ancha (20 kHz) estéreo (dos canales).

Audio digital sin compresión

- Referencia es la norma CD:

- ◆ 44,1 kMuestras/s.
- ◆ 16 bits/Muestra – cuantificación uniforme.
- ◆ Estéreo

$$\Rightarrow R = 2 \times 44,1 \times 16 = 1,41 \text{ Mb/s}$$

- ◆ También se utilizan habitualmente otras frecuencias de muestreo
 - 32 kHz (sistema NICAM: audio digital en TV analógica)
 - 48 kHz (grabación estudio, cinta audio digital DAT...)

R ↑↑ ⇒ Necesario comprimir el audio.

Compresión de audio

Aprovechar limitaciones de percepción del oído humano para reducir el volumen de datos que hay que transmitir, sin deteriorar de forma perceptible la calidad de la señal de audio.

➤ Redundancia dentro del canal.

Enmascaramiento frecuencial:

- ♦ Una componente de alta potencia de una frec. determinada enmascara a otras componentes de frecs. próximas y de menor potencia.

Enmascaramiento temporal:

- ♦ Un sonido de elevada amplitud enmascara igualmente los sonidos más débiles inmediatamente anteriores o posteriores.

➤ Redundancia entre canales.

Los distintos canales de un sistema multicanal presentan un importante grado de comunalidad que se puede aprovechar para reducir el volumen de datos que hay que transmitir.



Principio de codificación de audio

Experimentos han permitido determinar un *modelo psicoacústico* del oído humano, caracterizado por una curva de enmascaramiento y una cuantificación variable en función de las señales que se vayan a codificar.

Fases:

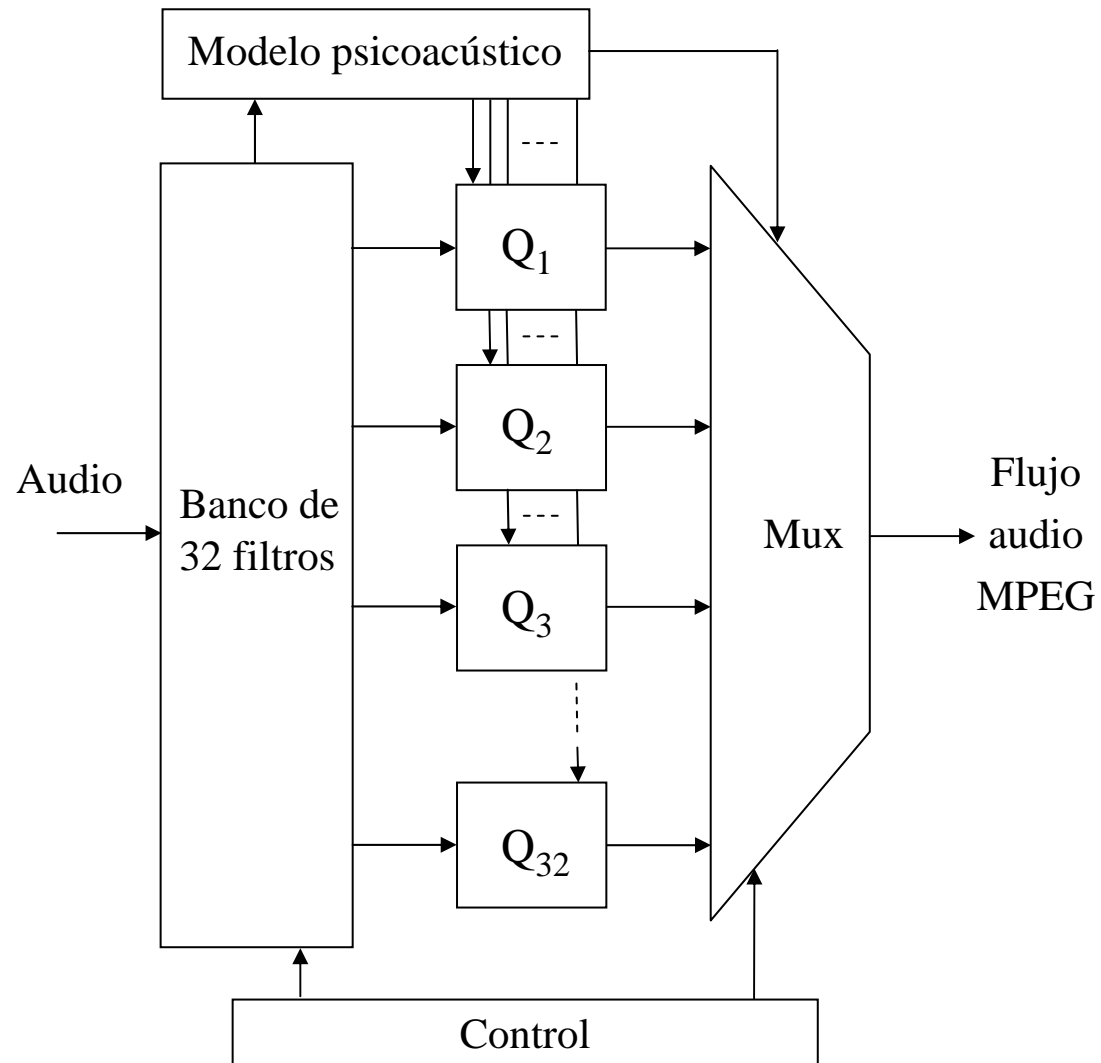
- Dividir la banda de paso en 32 subbandas de la misma anchura por medio de un banco de filtros denominado “polifase”.
- La precisión de la cuantificación de cada subbanda se decide dinámicamente analizando la señal y el modelo psicoacústico de modo que:
 - ◆ En cada subbanda el ruido de cuantificación se mantiene inferior al umbral de audibilidad.
 - ◆ Señales por debajo del umbral de audibilidad se eliminan.



Menor número de bits para representar la información.



Esquema



Estándares: MPEG-1

ISO/IEC 11172-3 MPEG-1: Permite tratar señales mono y estéreo, a velocidades de muestreo: 32, 44,1 y 48 kHz.

Tres técnicas de creciente complejidad y eficacia:

- Capa I (pre-MUSICAM): Subbandas con cuantificación adaptativa (algoritmo "*Precision Adaptive Subband Coding*", PHILIPS para DCC).
 - ◆ 14 veloc. codificación fijas entre 32 kb/s y 224 kb/s por canal.
 - ◆ Hi-Fi: a partir 192 kb/s por canal.
 - ◆ Complejidad: Relativa sencillez en codificador y decodificador.

- Capa II (MUSICAM): Mejora la cuantificación y la estimación de parámetros de enmascaramiento y codificación. Reduce entre 30% y 50% el flujo de bits empleado en Capa I.
 - ◆ 14 veloc. Codificación fijas entre 32 kb/s y 192 kb/s por canal.
 - ◆ Hi-Fi: a partir de 128 kb/s por canal.
 - ◆ Complejidad moderadamente superior a Capa I.

Estándares: MPEG-1

- Capa III: Modelo psicoacústico más sofisticado que el empleado en las capas anteriores; análisis de la señal basado en DCT; cuantificación no lineal; codificación Huffman.
 - ◆ Permite velocidad de codificación variable.
 - ◆ Compresión aproximadamente dos veces superior a Capa II.
 - ◆ Hi-Fi: a partir 64 kb/s por canal.
 - ◆ Complejidad ↑↑ a Capa I y II tanto en el codificador como en el decodificador, y con mayores tiempos de codificación y decodificación.
- Implementaciones de los decodificadores deben soportar compatibilidad hacia abajo.

DVB prescribe la utilización de las Capas I y II de MPEG-1 en los cuatro modos de trx. establecidos por el estándar:

- ◆ *etereo*: canales I y D codificados de modo totalmente independiente.
- ◆ *joint_stereo*: codificación conjunta de los canales I y D.
- ◆ *dual_channel*: dos canales independientes (ej. sonido bilingüe).
- ◆ *mono*: un único canal de sonido.

Estándares: MPEG-2

ISO/IEC 13818-3 MPEG-2: permite tratar señales de 5+1 canales (*surround sound*), admitiendo también las frecuencias de muestreo de 16, 22,05 y 24 kHz.

- Incluye dos estándares, uno de ellos compatible hacia atrás y hacia delante con MPEG-1.
- Velocidades binarias desde 8 kb/s por canal.
- En su parte 7 (*Advance Audio Coding, AAC*), combina predicción temporal con modelado frecuencial, obteniendo mejoras en compresión en el entorno de un 40%-50% sobre MPEG-1 Layer II.



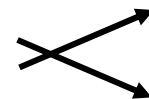
DVB permite transmisión de audio MPEG 2 compatible con MPEG-1.



Compresión de vídeo

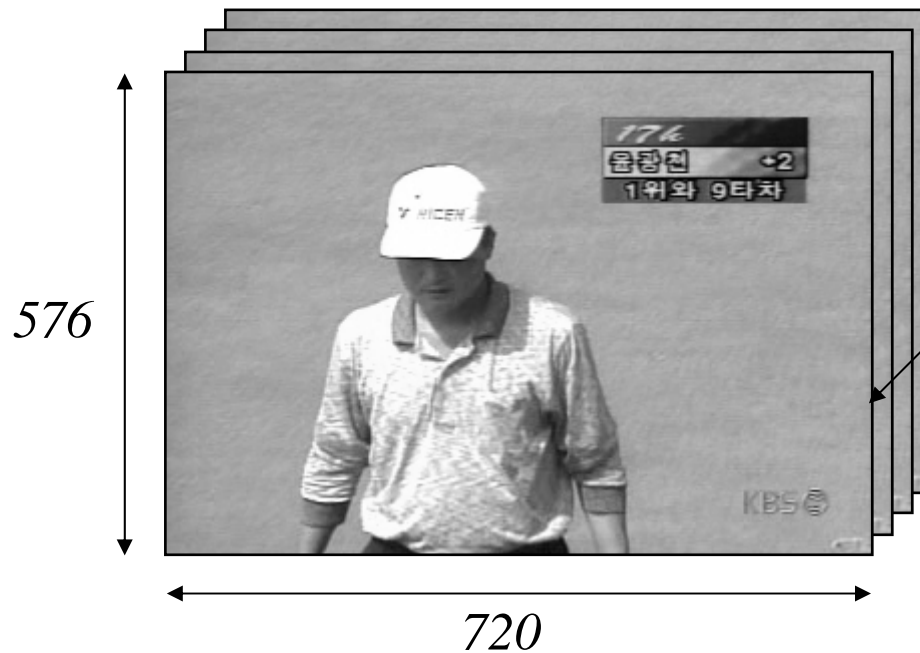
Imágenes

Elevado volumen de datos



Manipulación

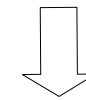
Almacenamiento y Transmisión



25 *imag/seg*

~ 250 Mbit/s

Información redundante
Capacidad limitada de percepción



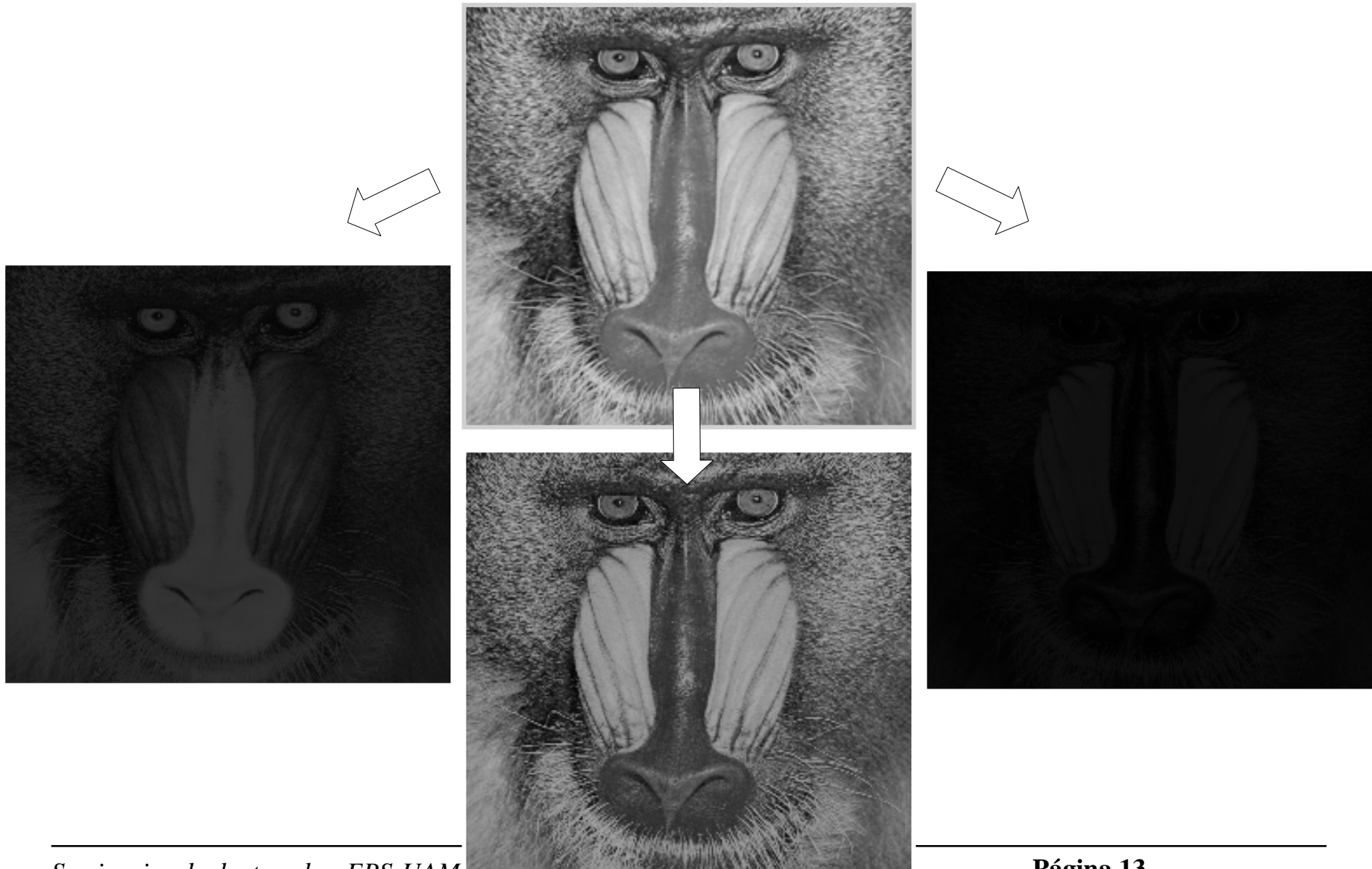
Objetivo:

Representar la información con
menor número de bits

$720 \times 576 \times 3 \times 8 \sim 10$ Mbit

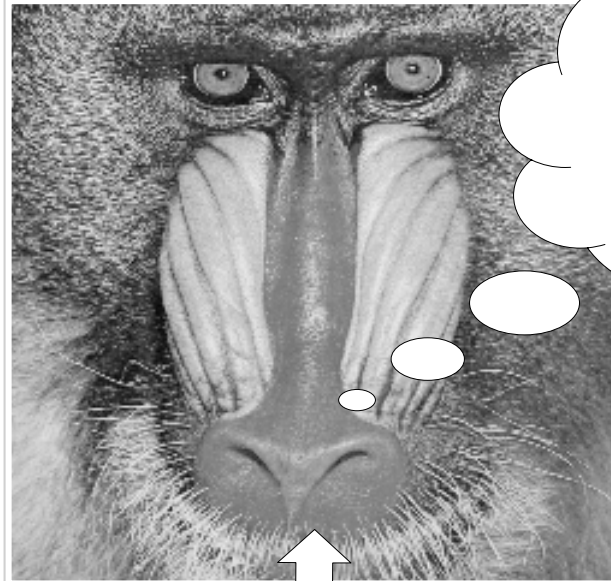
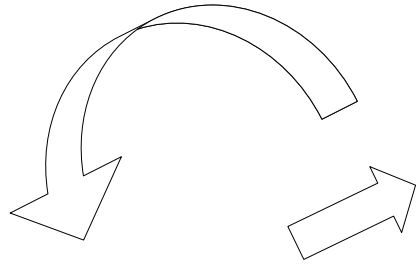


Color RGB

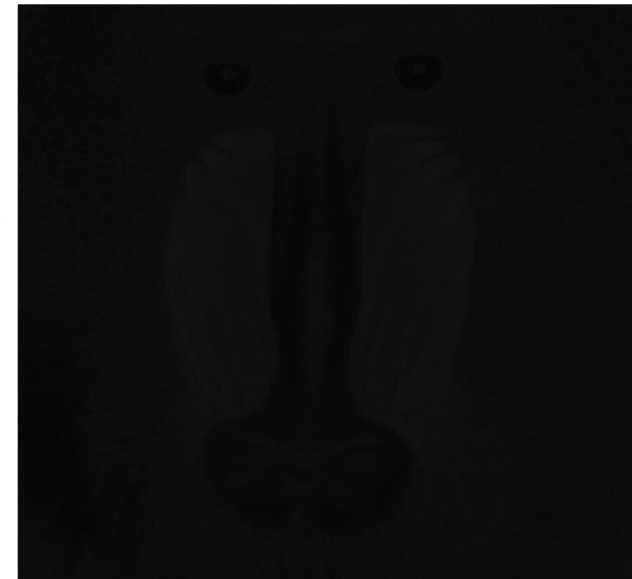
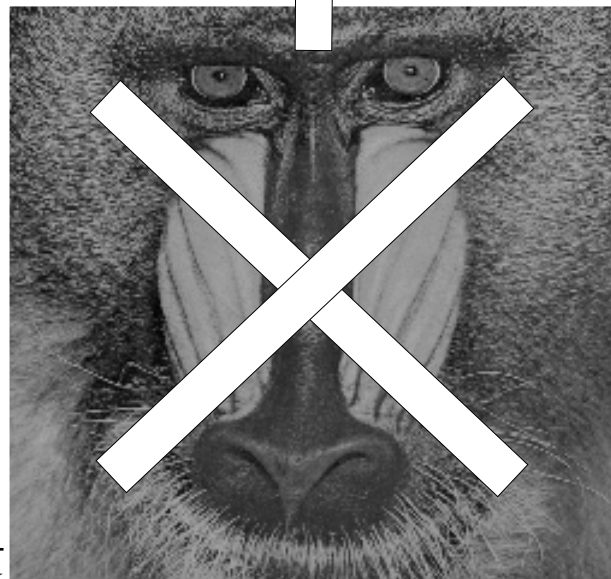
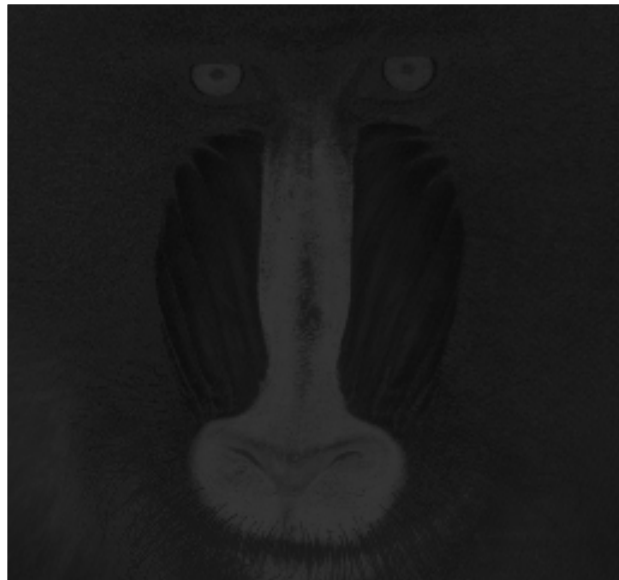


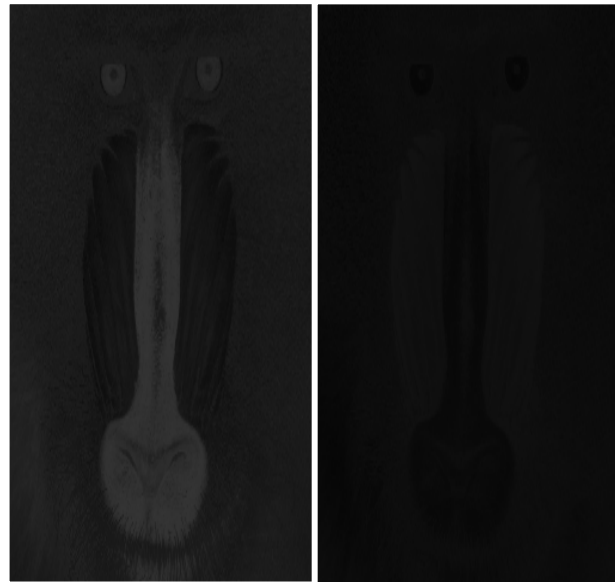
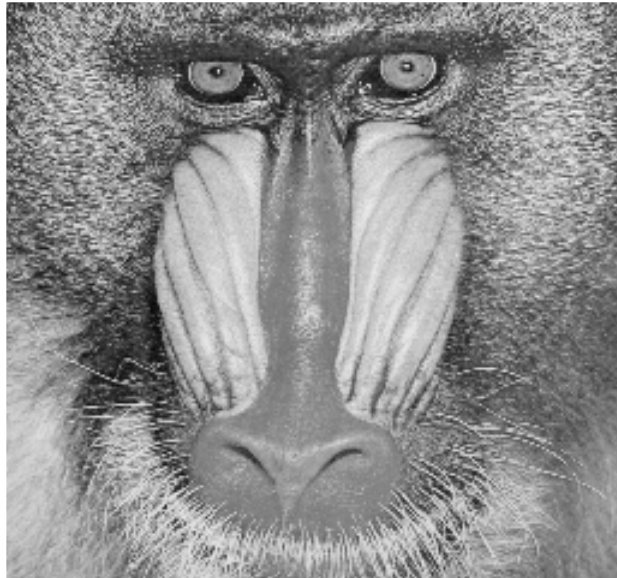


Luminancia y Crominancias

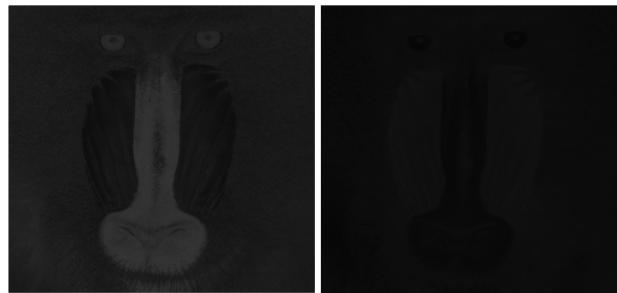


¿Sería posible
reducir la
información de
color?





4:2:2
~ 166 Mbit/s



4:2:0
~ 124,5 Mbit/s



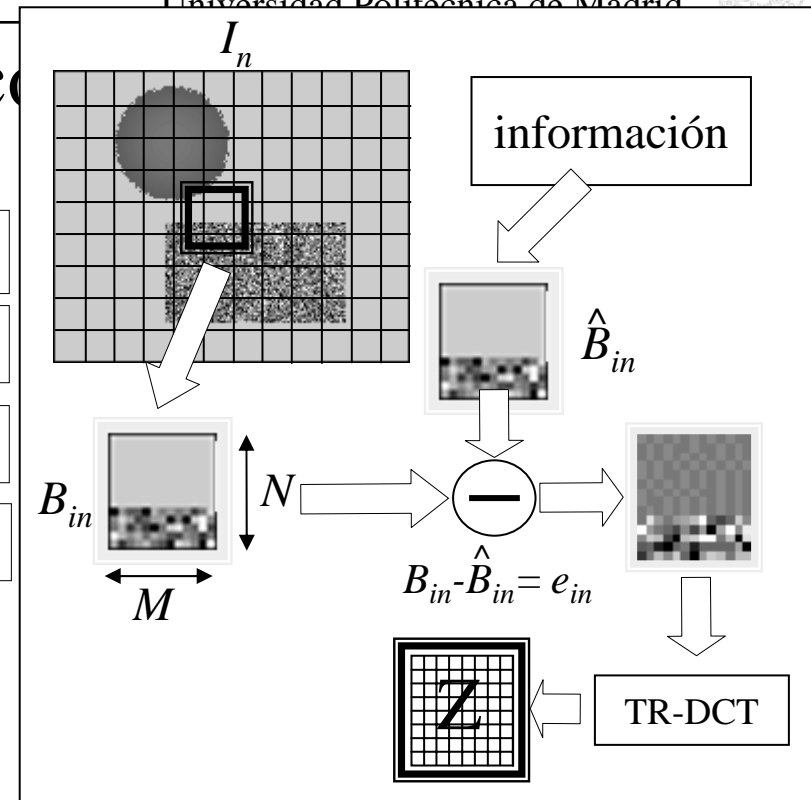
**Y según la
aplicación, se
utilizan imágenes
de diferente
tamaño**





Detalle del c

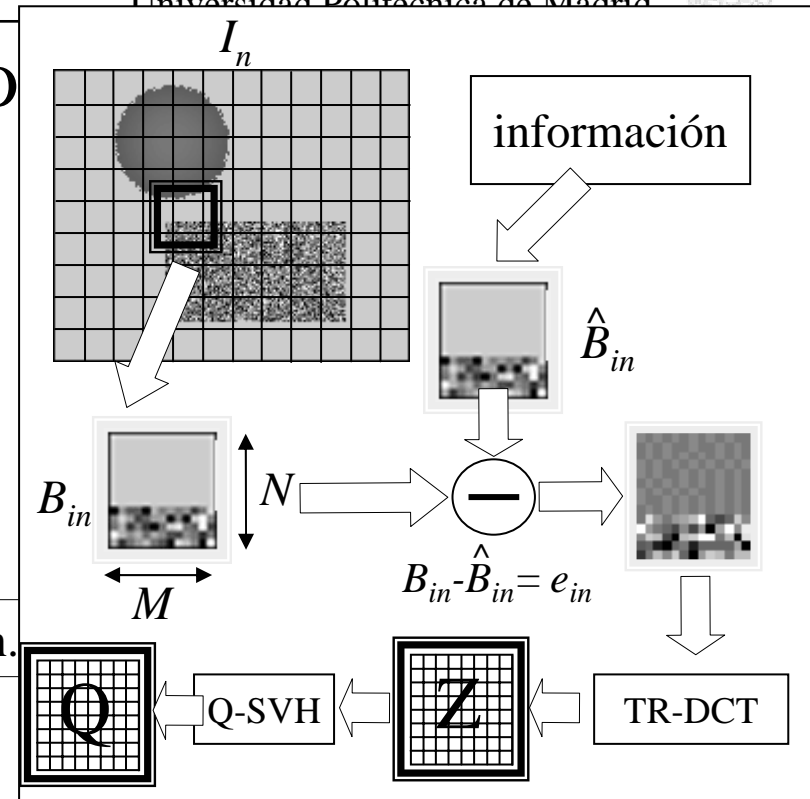
- División de la imagen actual en bloques.
- Calcular una predicción de cada bloque.
- Se genera el bloque de error de predicción.
- Transformar el error de predicción.





Detalle del co

- División de la imagen actual en bloques.
- Calcular una predicción de cada bloque.
- Se genera el bloque de error de predicción.
- Transformar el error de predicción.
- Cuantificar los coeficientes de la transformación.



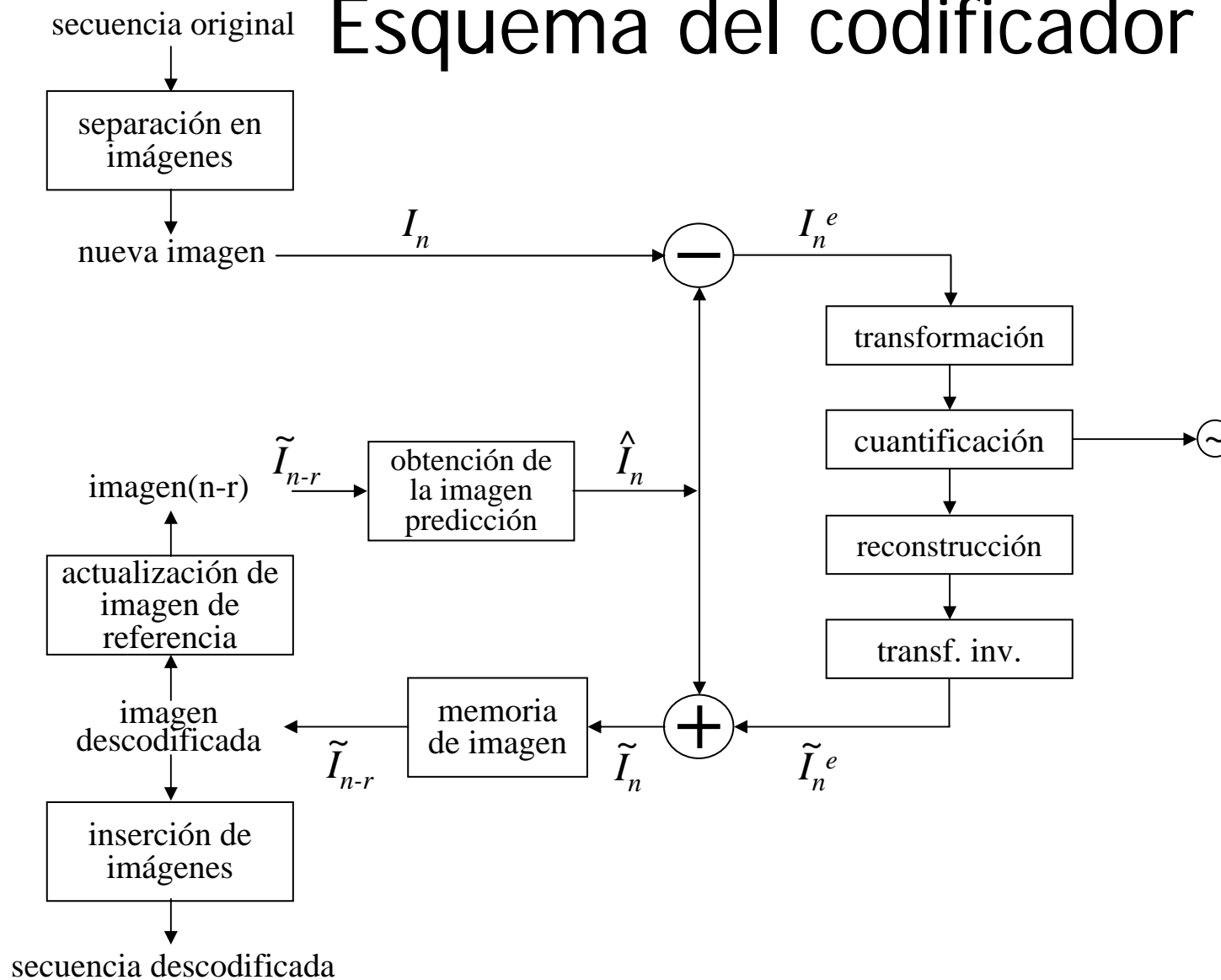
Codificación de Longitud Variable

Esquema básico para la práctica totalidad de los estándares de codificación

61	0	7	-1	1	0	0	0	990	9	72	-16	35	31	-33	-18
4	0	-6	1	-2											43
0	0														29
0	0	0	0	0	0	0	0	2	33	26	21	27	26	0	17



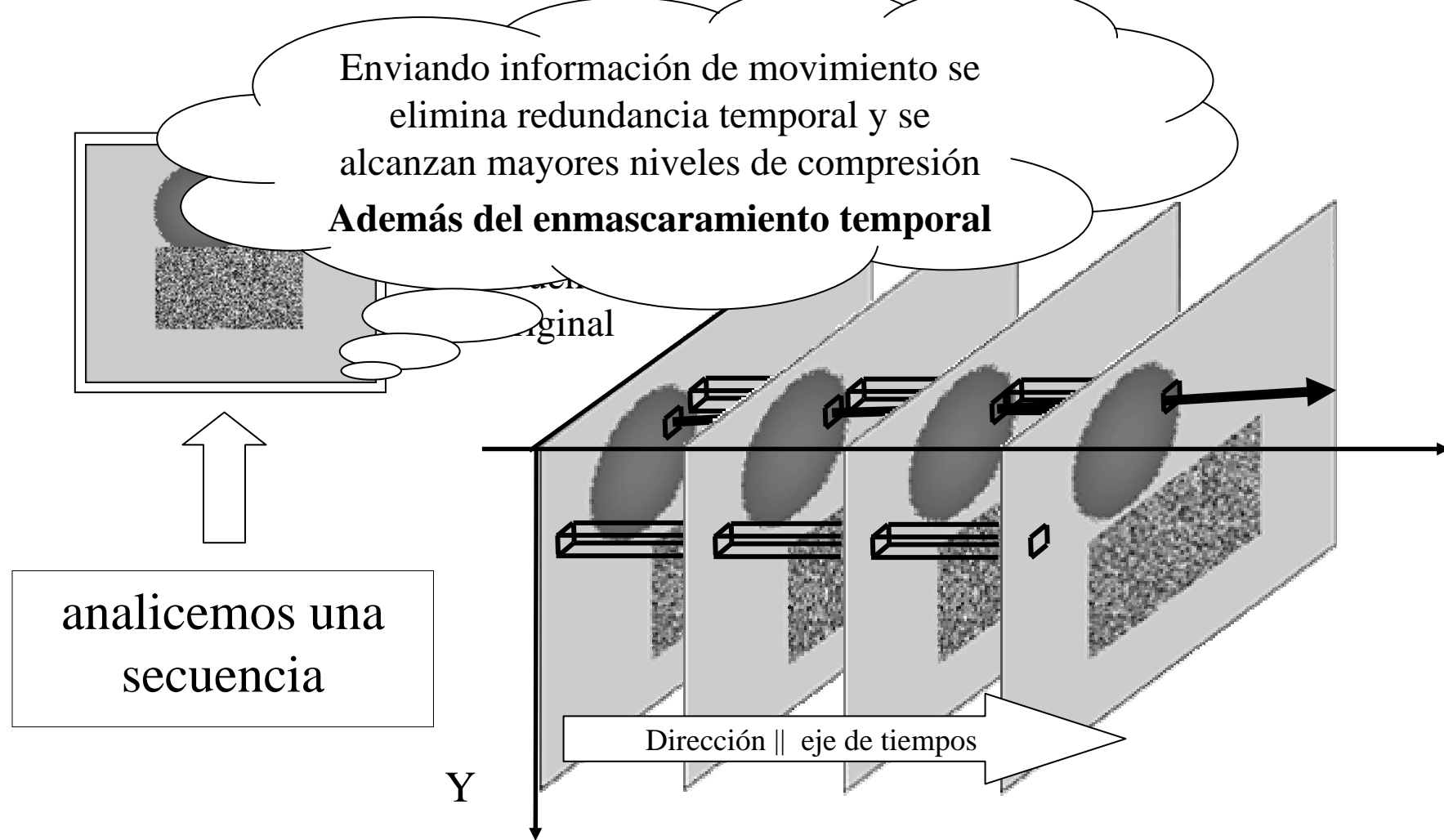
Esquema del codificador



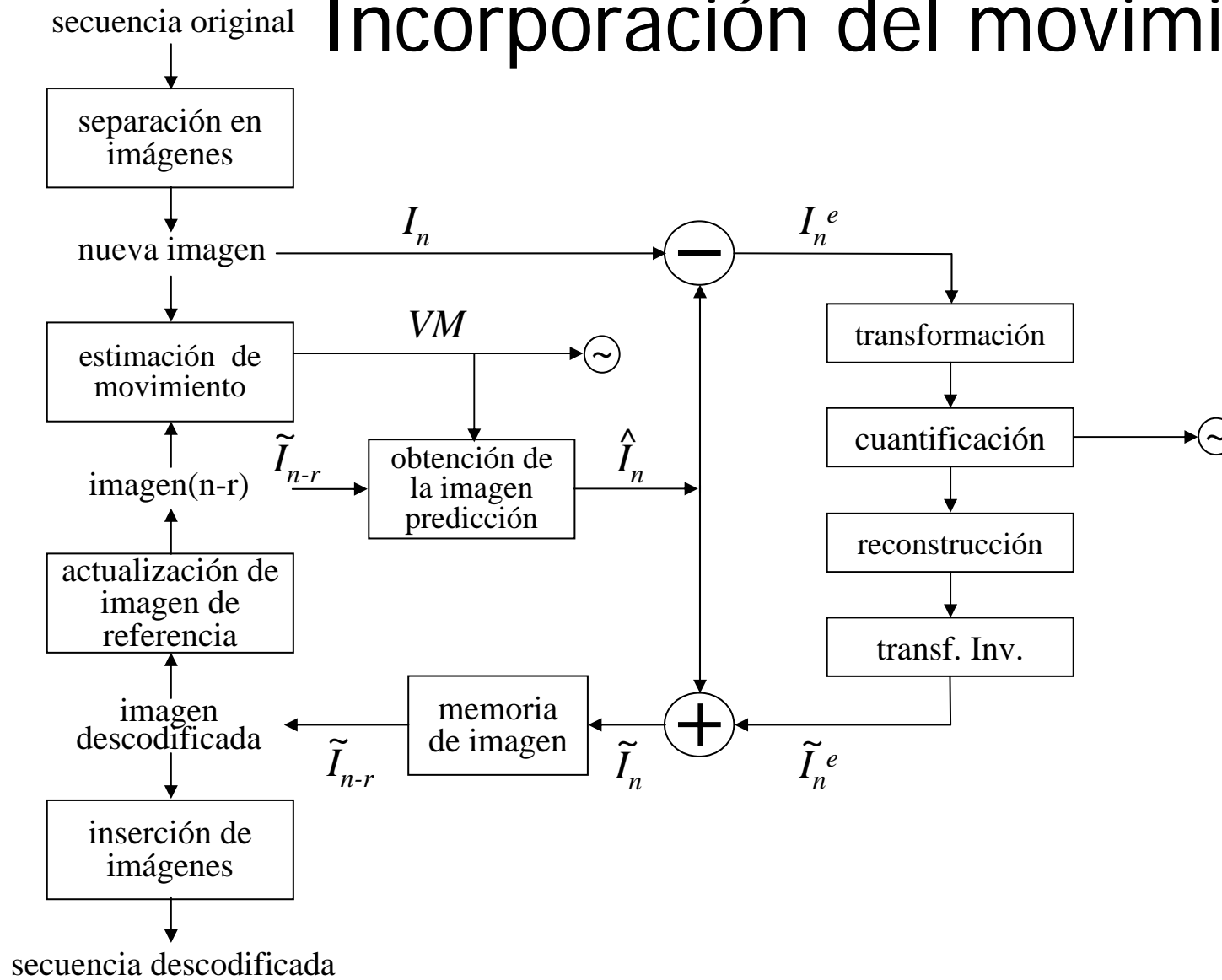


Codificación de secuencias

Se incorpora la dimensión temporal a la codificación

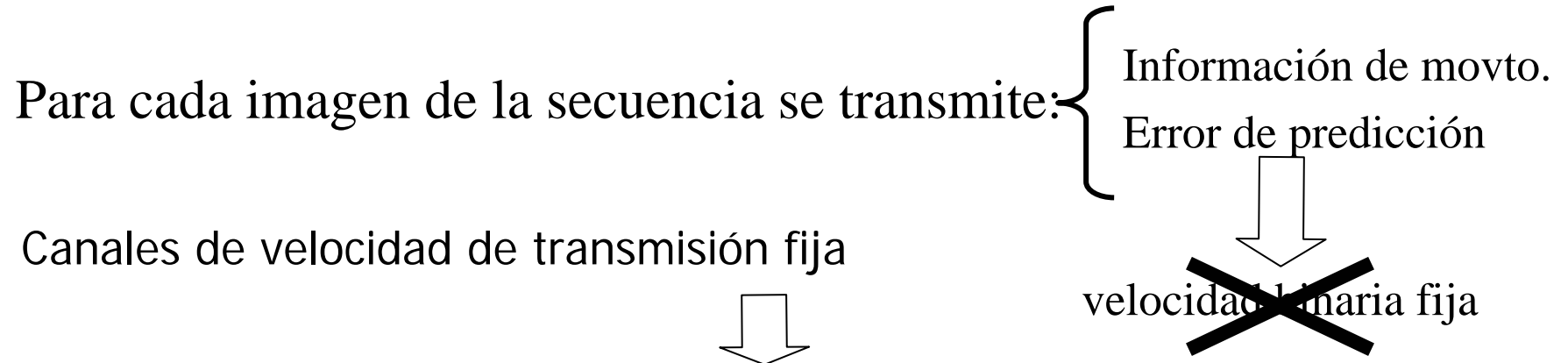


Incorporación del movimiento





Sistemas de contención



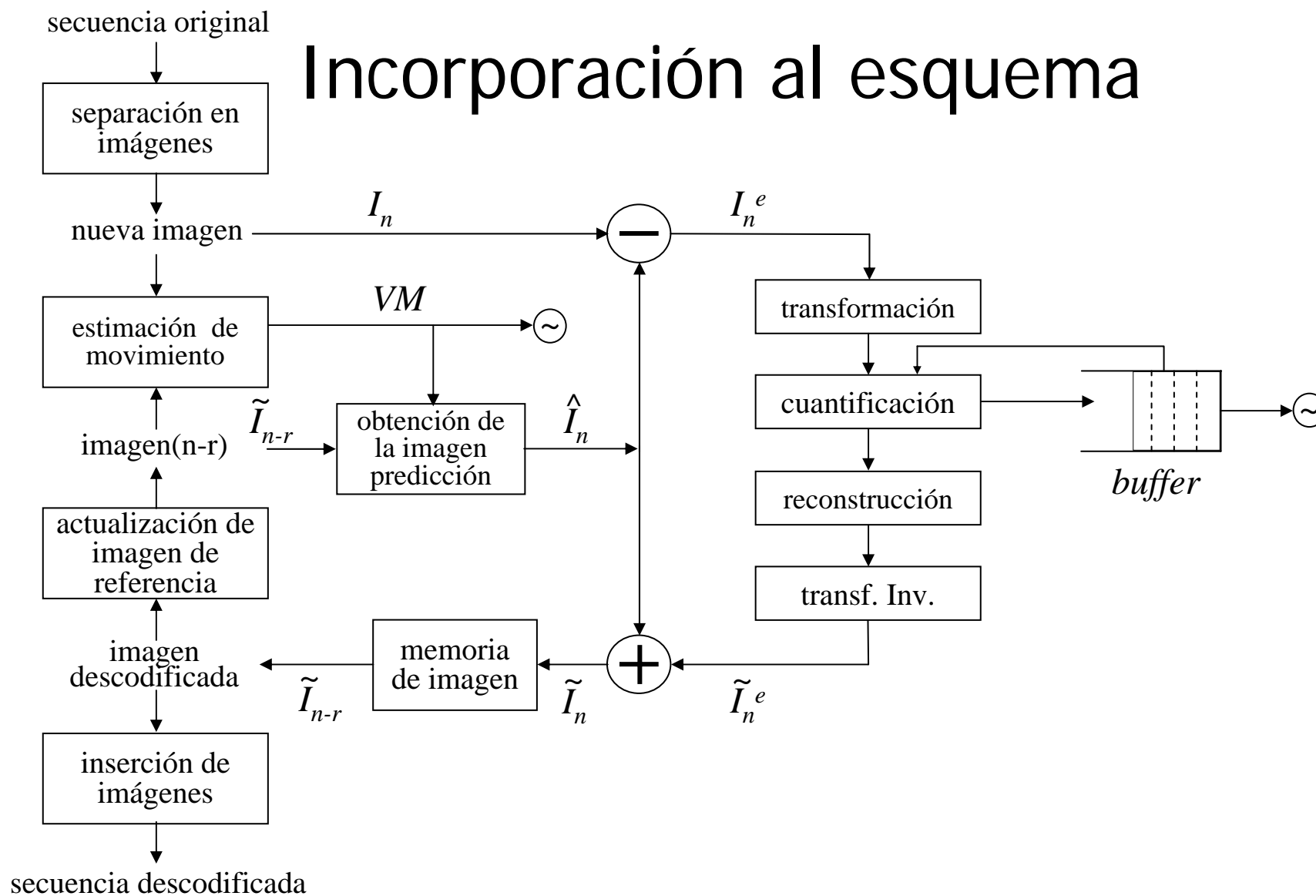
Necesidad de sistemas de contención (*buffers*: memorias FIFO)
que permita al canal de transmisión (velocidad constante) absorber la
variabilidad de la secuencia de vídeo

¿Cómo se puede controlar la velocidad binaria?

Controlando la **etapa de cuantificación** ⇒ alterar la calidad de las imágenes
reconstruidas



Incorporación al esquema





Estándares MPEG

MPEG: Moving Pictures Expert Group

ISO/IEC 11172-2 **MPEG-1:**

Codificación de vídeo y su audio asociado con velocidad binaria hasta 1,15 Mbit/s para los dispositivos de almacenamiento digital.



Estándares MPEG

MPEG: Moving Pictures Expert Group

ISO/IEC 11172-2 **MPEG-1:**

Codificación de vídeo y su audio asociado con velocidad binaria hasta 1,15 Mbit/s para los dispositivos de almacenamiento digital.

ISO/IEC 13818-2 **MPEG-2:**

Codificación genérica de vídeo.

Campo principal de aplicación: transmisión y almacenamiento de vídeo con calidades de contribución y distribución de TVD (3 ~ 15 Mbit/s)

Estándar considerablemente más complejo y flexible que MPEG-1, permite:

- Diferentes formatos de la señal de entrada (4:2:0, 4:2:2).
- ↑↑ flexibilidad para determinar vectores de movimiento por MB.
- Establecimiento de flujos escalables...

MPEG-2: Perfiles y Niveles

ISO/IEC 13818 MPEG-2:

Debe dar solución a aplicaciones muy variadas.

Se crean una serie de subconjuntos de la sintaxis que se definen mediante los conceptos de:

- Perfiles (5..7): conjunto de herramientas de compresión empleado (formato de muestreo, cuadros B, escalabilidad).
⇒ compromiso entre compresión y coste del descodificador.
- Niveles (4): conjunto de valores máximos de parámetros soportados por la implementación (dimensiones, cuadros/s, velocidad binaria).

DVB asume para TVD en el ámbito doméstico la combinación de Perfil Principal y Nivel Principal
Main Profile at Main Level (MP@ML)

MPEG-2: Calidades

Calidad objetiva:

- SNR o PSNR como medidas objetivas.
- Evaluables directamente sobre las imágenes transmitidas.

Calidad subjetiva:

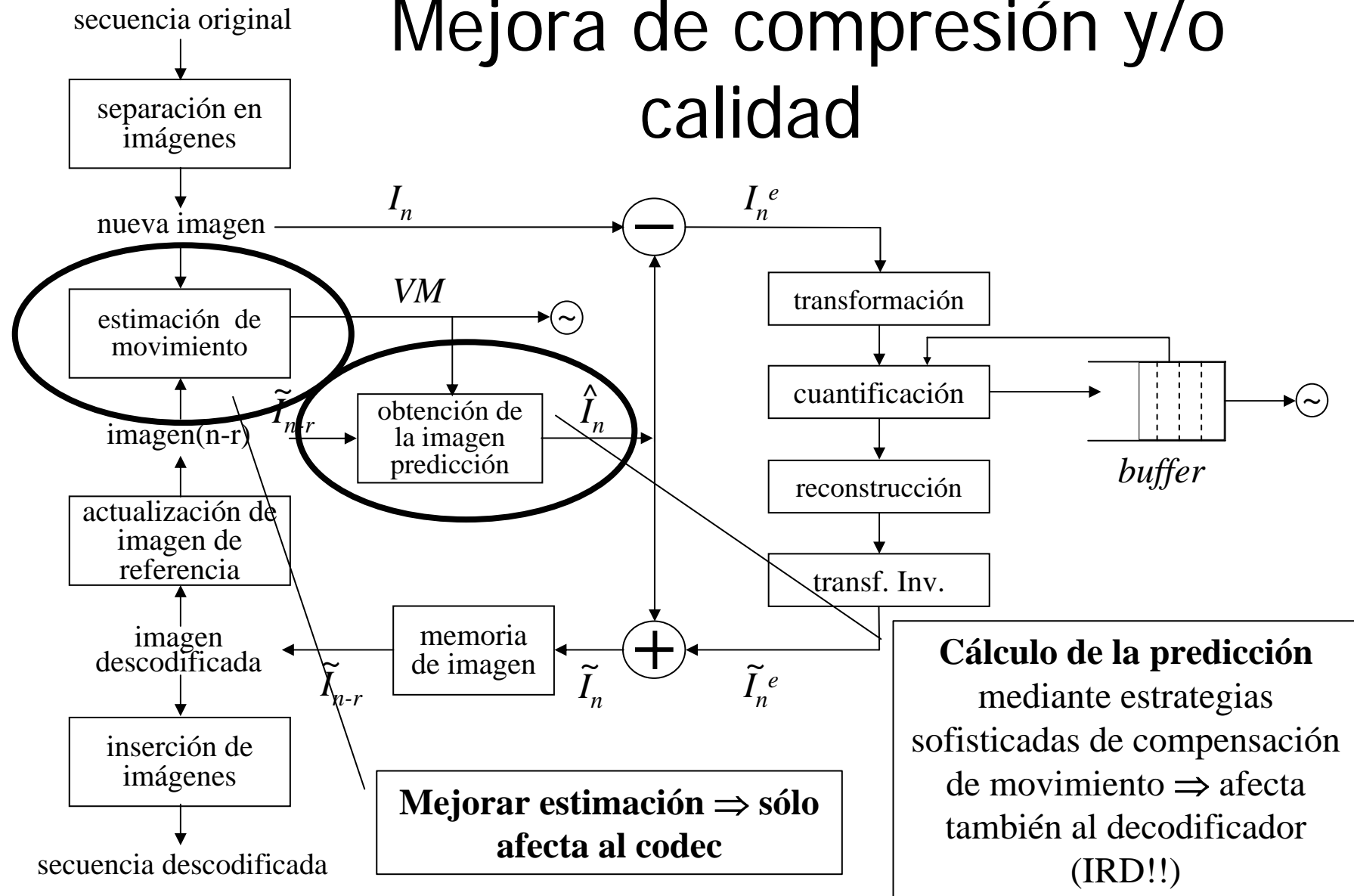
- Dependiente del tipo de programa (contenidos).
- Evaluable a través de pruebas con individuos siguiendo protocolos establecidos (estándares).
- Relación relativa con las medidas de calidad objetiva.

Velocidades binarias (orientativas):

- 2 Mb/s: apto para señales muy simples (ej. dibujos animados).
- 4-6 Mb/s: calidad PAL. Programación típica.
- 8-9 Mb/s: calidad de estudio. Programas especiales.

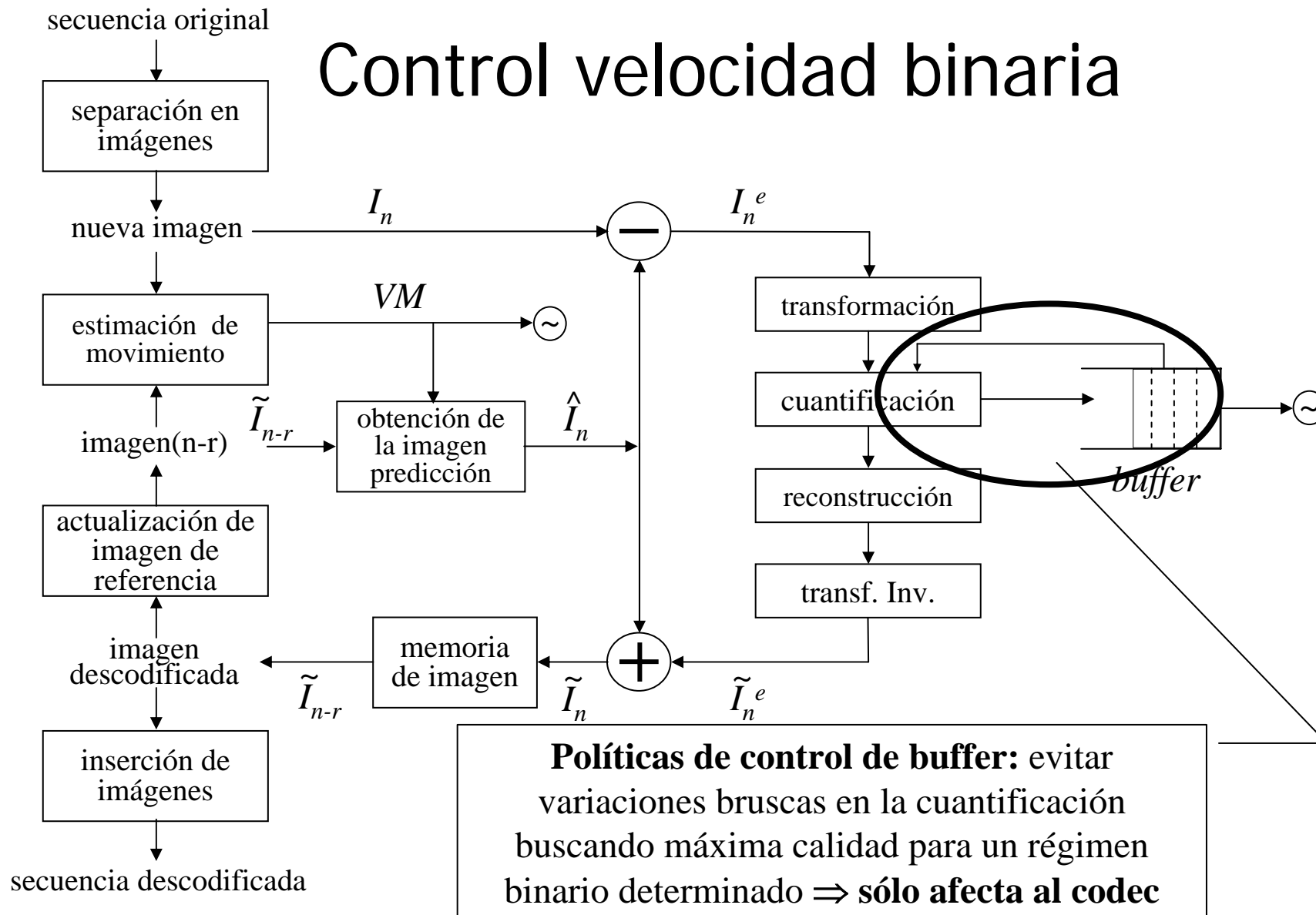


Mejora de compresión y/o calidad





Control velocidad binaria



Organización del Múltiplex MPEG-2

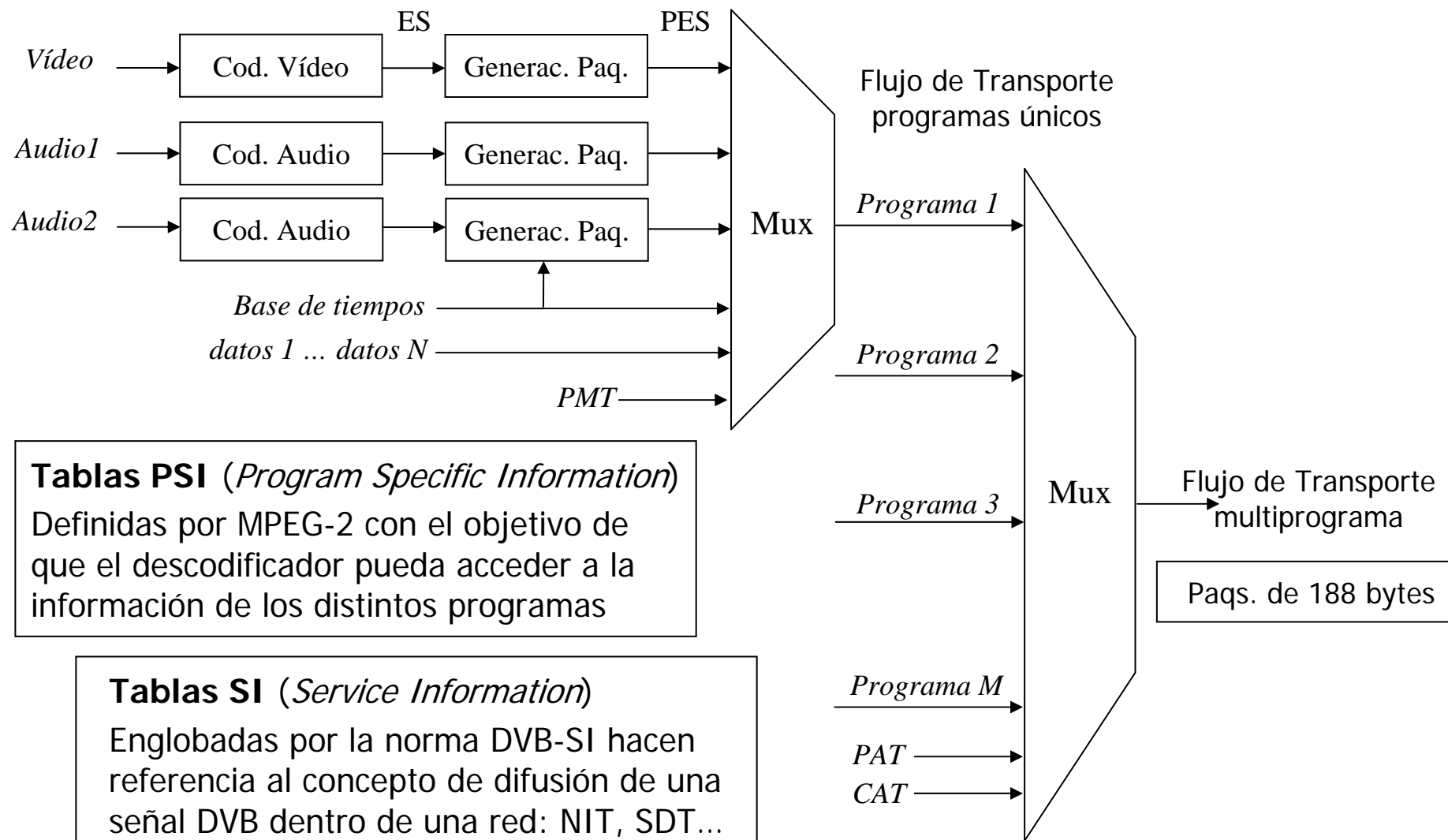
ISO/IEC 13818-1 MPEG-2, se centra en la sincronización y multiplexado de uno o más flujos elementales de vídeo, audio y otros datos en uno o varios flujos de datos para su almacenamiento o transmisión por canales digitales.

DVB asume la organización del Mux según el flujo de transporte (*Transport Stream*, TS) definido por MPEG-2.

- Salidas de los codificadores de vídeo o audio son los Flujos Elementales (*Elementary Streams*, ES).
- Los ES se disponen en paquetes (*Packetized Elementary Streams*, PES) para aumentar la eficiencia de protección contra errores y la adaptación al medio de transmisión.
- El TS combina en un único flujo binario, información que proviene de diversas fuentes (con igual o diferente base de tiempos) y que constituyen uno o varios programas.



Organización del Múltiplex



Tablas PSI (*Program Specific Information*)
 Definidas por MPEG-2 con el objetivo de que el descodificador pueda acceder a la información de los distintos programas

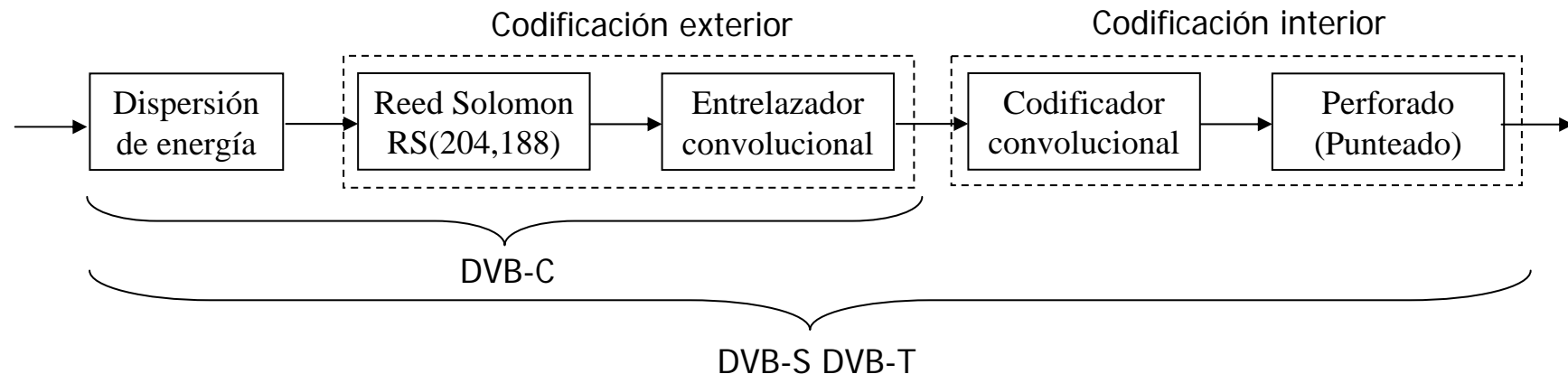
Tablas SI (*Service Information*)
 Englobadas por la norma DVB-SI hacen referencia al concepto de difusión de una señal DVB dentro de una red: NIT, SDT...



Codificación de canal

Objetivo: proteger la señal contra errores introduciendo redundancia dependiendo de las características del canal.

- Tasas de errores requeridas muy bajas (QEF).
- Etapas dependerán de los niveles de error esperados en Trx.



- RS(204,188): redundancia de 8,5 %
- Codificador Convolucional: *rate code* 1/2 (redundancia del 100%)
- Perforado (punzado): *rate code* final 1/2, 2/3, 3/4, 5/6 y 7/8
 - ◆ elimina redundancia en función de las condiciones de transmisión en compromiso con el volumen de información transmitida.

Modulación COFDM

Coded Orthogonal Frequency Division Multiplexing:

Adoptado para la TDT siguiendo la norma DVB-T.

Consiste en repartir un tren binario de alta velocidad entre gran número de portadoras ortogonales (**8k/2k**) de forma que cada una transporte un pequeño flujo permitiendo:

- Recepción robusta en presencia de multitrayecto.
- Posibilidad de existencia de redes de frecuencia única.
 - ◆ Alto aprovechamiento espectral.
 - ◆ Requiere una perfecta técnica de sincronización de red (sincronización de frecuencia, de tiempo, de bit).
- Controla el efecto de la interferencia entre símbolos mediante la utilización de intervalos de guarda.
- Inclusión de información sobre el estado del canal.

Modulación COFDM

Estas posibilidades sólo pueden conseguirse realizando una cuidadosa selección de los parámetros que definen la modulación, siendo siempre un compromiso entre el aprovechamiento del canal y la robustez perseguida:

- Tipo de modulación empleada sobre las portadoras (QPSK, 16 ó 64 QAM).
- Tasa de codificación (con punteado): 1/2 más robusto pero permite transmitir menos información útil.
 $2/3$ ó $3/4 \Rightarrow \downarrow$ robustez pero \uparrow vol. info. útil trx.
- Intervalo de guarda: La norma especifica cuatro valores: 1/4, 1/8, 1/16 y 1/32 del valor del tiempo útil del símbolo OFDM.
 \uparrow Int. Guarda $\Rightarrow \uparrow$ eliminación ecos pero \downarrow vol. info. útil trx.

Multiplexación estadística

El uso de la multiplexación estadística ya se concibió en la segunda mitad de los 90, si bien hasta casi el año 2000 no se dispuso de tecnología suficientemente potente y económica para llevarla a cabo.

Objetivo: distribuir eficientemente el ancho de banda (limitado y de elevado coste) entre los diferentes servicios transmitidos:

- Asegurando unos niveles de calidad suficiente.
- Realizando una asignación dinámica del ancho de banda disponible para cada uno de ellos.
- Teniendo en cuenta las características de los flujos transmitidos.

Requisitos:

- Disponibilidad de sistemas de codificación de régimen binario variable (VBR, *Variable Bit Rate*), frente a los disponibles habitualmente, de régimen binario fijo (CBR, *Constant Bit Rate*).
- Existencia de un sistema paralelo a los codificadores que proporcionará las velocidades de codificación de cada uno de ellos en cada instante.

Multiplexación estadística

Ventajas:

- Afecta a las fases de codificación y multiplexación, abiertas en la especificación de la norma DVB.
- Permite una compatibilidad total con los receptores existentes (si el flujo generado es sintácticamente compatible con la norma).
- Ofrecen una mejora del aprovechamiento en el entorno del 30%? del ancho de banda.

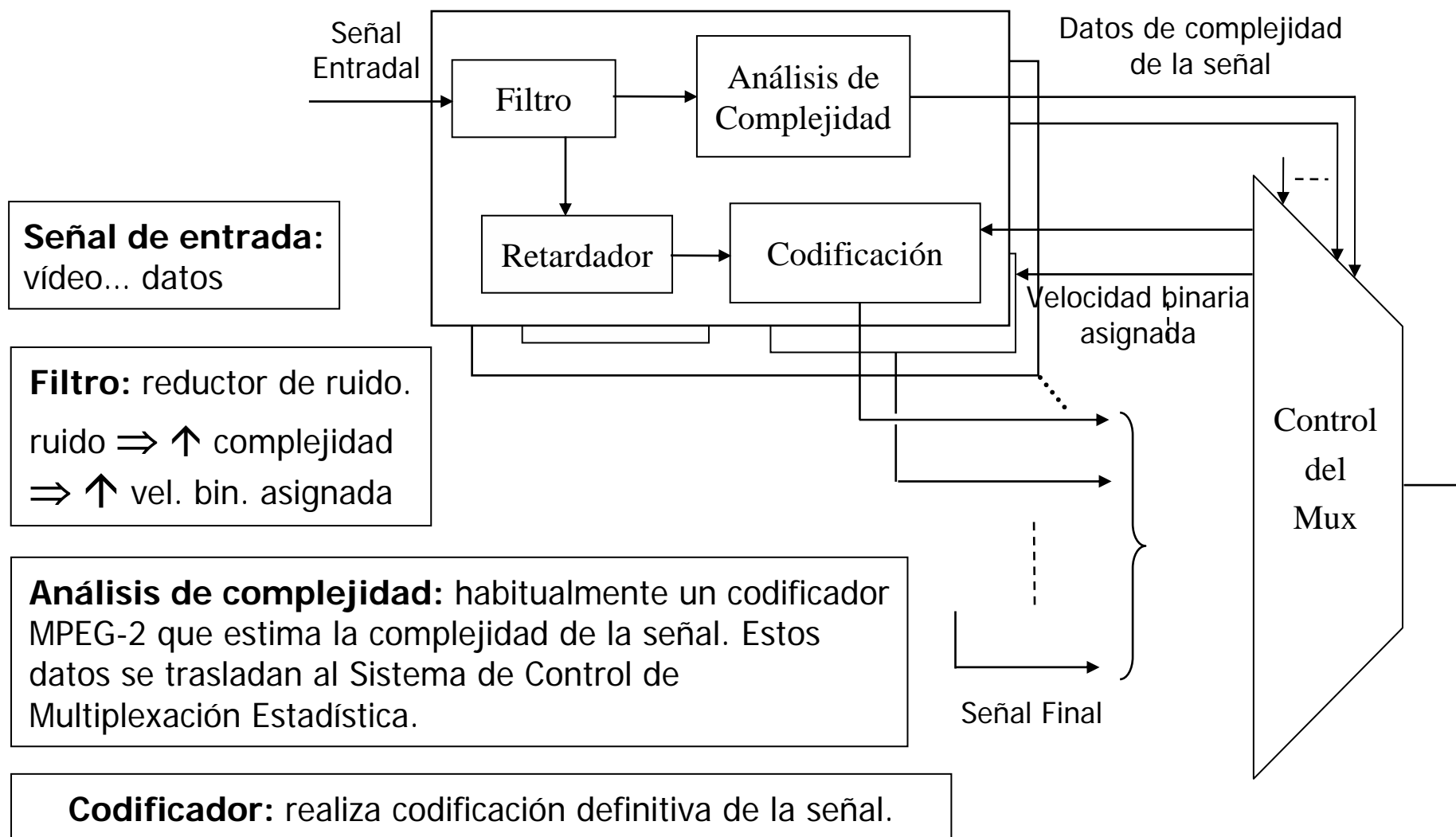
Tareas básicas:

- Determinación de la complejidad de las señales de entrada.
- Asignación de las velocidades de codificación de cada servicio de manera eficiente y en un tiempo próximo a cero (tiempo real).
- Inicialmente (principalmente) basados en la adaptación del flujo binario en la codificación del vídeo. Posteriormente también consideran la adaptación de la señal de datos.

Las particularidades (algoritmos) de las implementaciones de cada fabricante de estas tareas no son públicos (no sujetos a estandarización).

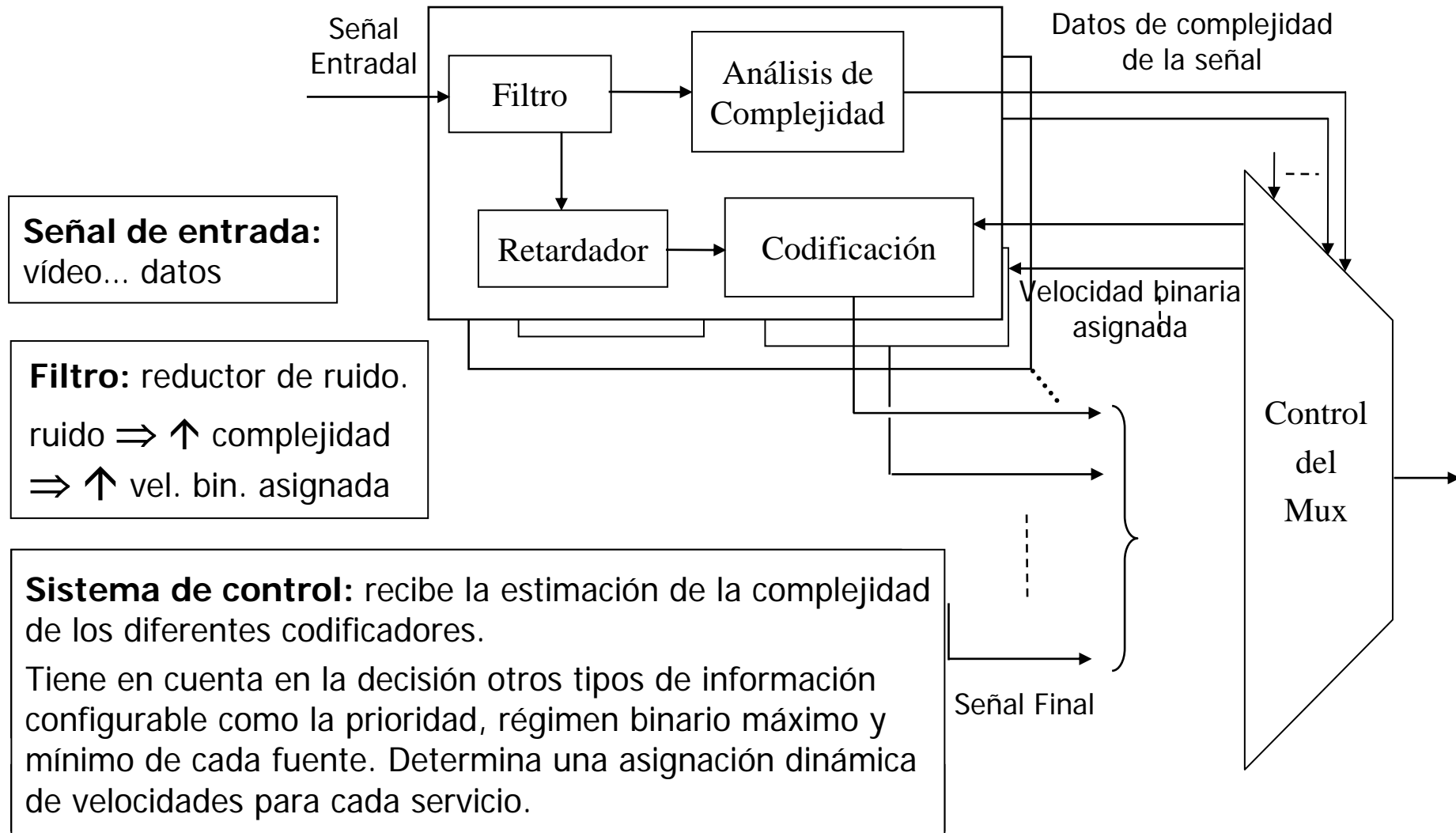


Arquitectura orientativa





Arquitectura orientativa





Aspectos relevantes

Es importante tener en cuenta los siguientes aspectos:

- Periodo de latencia: tiempo de retardo introducido por el sistema de multiplexación estadística.
 - ◆ Aspecto crítico que puede hacer inviable la utilización.
- Posibilidades de ajustar dinámicamente parámetros de prioridad, régimen binario máximo y mínimo sin que suponga corte en el servicio.
- Posibilidad de combinar la existencia de servicios con un régimen binario constante y servicios con régimen binario variable.
- Es interesante que la gestión de la multiplexación estadística no se efectúe por el multiplexor, sino que exista un equipo externo encargado de ello.
- Estos sistemas suelen ser más efectivos a medida que aumenta el número de servicios.



¿Otras soluciones/mejoras?

Avances en nuevos estándares de codificación de vídeo - H.263, MPEG-4, Windows Media 9, H.264:

- Consiguen grados de compresión y calidad muy superiores a los ofrecidos por MPEG-2:
 - ◆ 40%-50% reducción de velocidad binaria para imágenes de TVD.
- Requieren un aumento muy significativo del procesamiento en el codificador:
 - ◆ Debido principalmente a la complejidad de las tareas de estimación de movimiento.
- Pero también en el decodificador (IRD):
 - ◆ La compensación del movimiento es muy sofisticada.
 - ◆ Se flexibiliza la dimensión del macrobloque y del bloque para la determinación de la DCT.

Adopción de estándares de audio más eficientes: MPEG-2 parte 7 (*Advance Audio Coding, AAC*)