

Universidad Politécnica de Madrid  
Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Telecomunicación



*ANÁLISIS DE REDES DE DISTRIBUCIÓN DE  
CONTENIDOS MULTIMEDIA SOBRE LTE MEDIANTE  
ESCENARIOS VIRTUALES*

**TRABAJO FIN DE MÁSTER**

**Osmar Mendoza Vaca**

2015



Universidad Politécnica de Madrid  
Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Telecomunicación

**Máster Universitario en  
Ingeniería de Redes y Servicios Telemáticos**

**TRABAJO FIN DE MÁSTER**

*ANÁLISIS DE REDES DE DISTRIBUCIÓN DE  
CONTENIDOS MULTIMEDIA SOBRE LTE MEDIANTE  
ESCENARIOS VIRTUALES*

Autor  
**Osmar Mendoza Vaca**

Director  
**Luis Bellido Triana**

Departamento de Ingeniería de Sistemas Telemáticos

2015

## 1 Resumen

El propósito fundamental del presente estudio se centra en la transmisión de video digital sobre una red de datos móviles LTE. La transmisión de contenido multimedia a través de la red móvil es una función muy demandada actualmente por los teléfonos móviles inteligentes. Garantizar la calidad en la percepción de los contenidos multimedia, frente a la gran demanda del servicio es el gran desafío al que se enfrentan los servicios de almacenamiento y distribución de video. La tendencia actual señala que habrá un crecimiento importante en el consumo de vídeo en la Internet en los años venideros que demandará la ampliación, o mejorar el uso eficiente de la capacidad en la red. Este crecimiento llevó a diferentes empresas a diagnosticar y analizar los problemas en la distribución de estos contenidos multimedia.

El estudio y análisis de la distribución de video digital empleado en las CDNs es el objeto de este proyecto. Red de Distribución de Contenido (CDN, Content Delivery Network), este tipo de redes de nivel de aplicación son altamente escalables y permiten un control total sobre los recursos y funcionalidad de todos los elementos de su arquitectura. Esto permite evaluar las prestaciones de una CDN que distribuya contenidos multimedia en términos de: ancho de banda necesario, tiempo de respuesta obtenido por los clientes, calidad percibida, mecanismos de distribución, tiempo de vida al utilizar *caching*, etc.

Para un análisis general de las CDN's, el presente estudio propone soluciones a nivel de encaminamiento y redirección de usuarios, basados en una estructura CDN, sobre una red móvil LTE emulada. La maqueta propuesta esta construida mediante la herramienta VNX, desarrollada por la Universidad Politécnica de Madrid., para la virtualización y prueba de escenarios; con el fin de promover la investigación e innovación científica.

El estudio realizado y el escenario virtual creado, prueban como soluciones implementadas a nivel de aplicación dentro de una estructura CDN, son capaces de mejorar la calidad en la transmisión de contenidos de audio y video.



## 2 Abstract

The main purpose of this study focuses on the transmission of digital video over LTE mobile data network. The streaming media via the mobile network is currently a high demanded function for smart phones. Ensuring the quality in the perception of the multimedia contents, despite the high demand of the service, is a challenge for video storing and distribution services. The current trend indicates that in the coming years there will be a significant growth in the video consumption over the Internet, that will require the extension or the efficient use of network capacity. This growth led to different companies to diagnose and analyze problems in the distribution of these multimedia content.

The study and analysis of digital video distribution used in CDNs is the subject of this project. Content Distribution Network (CDN), this type of application-level networks are highly scalable and allow full control over the resources and functionality of all elements of its architecture. This allows to evaluate the performance of a CDN to distribute multimedia content in terms of: necessary bandwidth, time response obtained by clients, perceived quality, distribution mechanisms, lifetime by using caching, etc.

For a general discussion of the CDN's, this study proposes solutions to route and redirect users, based on a CDN, over an emulated LTE mobile network. The proposed model was built using VNX tool, developed by the Universidad Politécnica de Madrid., For virtualization and test scenarios in order to promote scientific research and innovation.

This study and the presented virtual scenario, prove how solutions implemented at the application level within a CDN structure, are able to improve quality in the audio and video content transmission.

### 3 Índice general

<b>1</b>	<b>Resumen .....</b>	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>Abstract.....</b>	<b>3</b>
<b>3</b>	<b>Índice general.....</b>	<b>4</b>
<b>4</b>	<b>Indice de figuras .....</b>	<b>7</b>
<b>5</b>	<b>Índice de tablas.....</b>	<b>7</b>
<b>6</b>	<b>Siglas.....</b>	<b>8</b>
<b>1</b>	<b>Introducción .....</b>	<b>10</b>
1.1	Presentación .....	11
1.2	Motivación .....	12
1.3	Definición del problema.....	13
1.4	Objetivos.....	13
1.5	Limitaciones.....	14
1.6	Metodología y Medios .....	14
<b>2</b>	<b>Estado del Arte .....</b>	<b>16</b>
<b>2.1</b>	<b>Redes de Distribución de Contenido .....</b>	<b>16</b>
2.1.1	El crecimiento de Internet.- .....	16
2.1.2	Streaming de Contenidos.- .....	18
2.1.3	Evolución de las CDN's.-.....	19
2.1.4	Escalabilidad en las CDN.-.....	22
2.1.5	Web Caching.-.....	23
2.1.6	Replicas o Mirrors.- .....	24
2.1.7	Análisis de una Red de Distribución de Contenido.- .....	25
2.1.8	Principales CDNs.- .....	30
2.1.9	Clasificación de las CDNs.- .....	31
<b>2.2</b>	<b>Comunicación y gestión de servidores en CDN.....</b>	<b>32</b>
2.2.1	Evolución tecnológica de las CDNs, integración con Cloud Computing.- .....	34
2.2.2	CDI (Content Delivery Interconnection).-.....	35
<b>2.3</b>	<b>Streaming de Video Adaptativo.....</b>	<b>35</b>
2.3.1	Protocolo DASH.- .....	36

2.3.2	Servicios de vídeo para móviles.- .....	37
2.3.3	Streaming basado en Pull y Push.- .....	38
2.4	LTE y Redes Moviles .....	39
<b>3</b>	<b>Análisis de encaminamiento y redirección de usuarios en una estructura CDN.....</b>	<b>41</b>
3.1	Algoritmos de redirección .....	42
3.2	Mecanismos de redirección .....	43
3.2.1	Redirección basada en DNS .....	44
3.2.2	Redirección basada en HTTP .....	44
3.2.3	Redes de contenido basadas en P2P .....	45
3.3	Medidas de rendimiento.....	45
3.4	Comparación de técnicas entre CDNs Comerciales .....	48
3.5	Conclusiones.....	48
<b>4</b>	<b>Descripción de un servicio de streaming de video adaptativo sobre una estructura CDN.....</b>	<b>50</b>
4.1	Arquitectura General de la CDN .....	50
4.1.1	Descripción de Equipos y sus programas .....	50
4.1.2	Descripción de una Base de Datos .....	51
4.2	Acciones de Gestión.....	52
4.2.1	Inicialización y configuración de los módulos.....	52
4.2.2	Obtener información sobre el estado de los servidores y la red.....	52
4.2.3	Gestionar el tiempo de almacenamiento de contenidos .....	53
4.2.4	Desarrollo de una política de contenidos .....	53
4.2.5	Acciones de Administración .....	53
4.2	Software Libre y CDN's .....	54
4.3	Conclusiones parciales del diseño.....	54
<b>5</b>	<b>Diseño de un modelo de Streaming sobre CDN.....</b>	<b>55</b>
5.1	Modelo Básico.....	55
5.2	Descripción del modelo de emulación .....	56
5.2.1	Cliente .....	57
5.2.2	Surrogate.....	58
5.2.3	Redirector .....	59
5.2.4	Servidor DNS .....	59
5.2.5	Monitor .....	59
5.2.6	Gestionado de la CDN.....	60
5.2.7	Servidor Origen .....	60
5.3	Modelo de Arquitectura para la implementación en VNX.....	61
5.3.1	Introducción.....	61



4.4.2.	Arquitectura de Red.....	62
4.4.3.	Topología de Red en VNX .....	63
4.4.4.	Características Generales .....	65
4.5.1	CDN Manager .....	67
4.5.2	Servidor Origen y Surrogates.....	68
4.5.3	Cliente VNX.....	69
4.6.	Resumen .....	69
6	Líneas de Trabajo Futuras.....	70
6.1	Líneas Futuras de investigación.....	70
6.1.1	Maqueta VNX .....	70
6.1.2	Modulo de Redirección y Software CDN .....	70
6.1.3	Modelo de Emulación .....	70
6.1.4	Prestaciones LTE .....	71
6.1.5	Implementación de una CDN.....	71
7	Conclusiones .....	72
7	Bibliografía.....	73

## 4 Índice de figuras

Figura 1. Porcentaje total de tráfico de Internet (Fuente Ipoque) .....	19
Figura 2. Escenario general de conexión Cliente/Servidor .....	20
Figura 3. Beneficios del proxy caching. ....	23
Figura 4. Esquema básico de una CDN .....	27
Figura 5. Componentes de una Arquitectura CDN .....	28
Figura 6. Streaming vs Transferencia Clásica .....	36
Figura 7. Proceso de encaminamiento y redirección CDN.....	41
Figura 8. Algoritmos de redirección .....	42
Figura 9. Medidas de rendimiento CDN .....	46
Figura 10. Métricas importantes en una Estructura CDN .....	47
Figura 11. Relación de Bases de Datos.....	51
Figura 12. Información y Control CDN .....	52
Figura 13. Redirección de Surrogates .....	58
Figura 14. Maqueta de Prueba Simplificada .....	63
Figura 15. Implementación del escenario de red. ....	64
Figura 16. Esquema de la estructura CDN propuesta.....	65
Figura 17. Velocidades de LTE .....	66
Figura 18. Organización y prioridad de servidores para cada cliente. ....	68
Figura 19. Redirección del escenario.....	69

## 5 Índice de tablas

Tabla 1. Uso de Internet y estadística poblacional(Fuente: Internet World Stats) .....	17
Tabla 2. Redes de distribución de contenidos Comerciales.....	30
Tabla 3. Redes de distribución de contenidos académicas. ....	31
Tabla 4. Métricas de Ancho de Banda LTE .....	67
Tabla 5. Especificaciones Equipos CDN .....	50

## 6 Siglas

**AC** Admission Control

**AVC** Advance Video Coding

**BIFS** Binary format for scene

**BML** Broadcasting markup language

**CDN** content delivery network

**CNAME** Canonical Name record

**CSS** Cascading Style Sheets

**DASH** Dynamic Adaptive Streaming over HTTP

**DLNA** Digital Living Network Alliance

**DNS** Domain Name System

**DOM** Document Object Model

**DRM** Digital Rights Management

**DVB** Digital Video Broadcasting

**FLUTE** File Delivery over Unidirectional Transport

**HD** High Definition

**HTTP** Hypertext Transfer Protocol

**IGMP** Inter Group Management protocol

**IP** Internet Protocol

**IPTV** Internet Protocol Televisión

**ISP** Internet Service Provider

**ITU** International Telecommunication Union

**LTE** Long Term Evolution

**MPD** Media Presentation Description

**P2P** Peer to Peer

**PIFF** Protected Interoperable File Format

**PoP** Point of Presence

**QoS** Quality of Service

**RTP** Real time Transport Protocol

**RTCP** Real-Time Control Protocol

**RTSP** Real Time Streaming Protocol

**RTT** Round Trip Time

**SADS** Service and Application Discovery and Selection

**SAP** Stream Access Point

**SCP** Service Content Protection

**SCTP** Stream Control Transmission Protocol

**SST** Smooth Streaming Transport

**SVC** scalable Vector Coding

**SVG** Scalable Vector Graphics

**TCP** Transmission Control Protocol

**UDP** User Datagram Protocol

**URI** Uniform Resource Identifier

**URL** Uniform Resource Locator

## 1 Introducción

Una de las tecnologías que experimentó mayor avance en este último tiempo ha sido la de telefonía móvil. Es una tecnología que estuvo desde sus inicios en constante crecimiento, debido a que se ha convertido en un instrumento indispensable en la vida cotidiana de todas las personas alrededor del mundo. Es ese uso continuo y cotidiano lo que ha llevado a un progresivo desarrollo de esta tecnología, hoy en día es imposible imaginar un mundo sin teléfonos móviles y sistemas de telecomunicaciones.

En nuestros días el mundo de la telefonía móvil ha cambiado totalmente, ya no solo hablamos de un servicio de voz y mensajería de texto, el mundo de la telefonía ha estado en gran crecimiento y desarrollo por esta razón en los últimos años de investigación, se ha conseguido que los sistemas de telefonía móvil pasen de ser un simple servicio de intercambio a voz a ser un sistema que ofrece una amplia gama de aplicaciones que permiten las comunicaciones multimedia en tiempo real, independientemente de la ubicación del usuario.

La transmisión de contenido multimedia a través de la red móvil es una función muy demandada actualmente por los teléfonos móviles inteligentes. Garantizar la calidad en la percepción de los contenidos multimedia frente a la gran demanda del servicio es el gran desafío al que se enfrentan los servicios de almacenamiento y distribución de video. Los últimos años han supuesto un gran cambio en cuanto a la forma de consumo multimedia, cada vez es más frecuente que el usuario elija el momento y el lugar para visualizar cualquier contenido multimedia. Este gran fenómeno supone una fuerte migración de la televisión tradicional hacia el consumo multimedia en Internet. Es necesario, en este aspecto garantizar el suministro de contenidos multimedia en las actuales y futuras redes móviles. La transmisión de contenidos multimedia en redes móviles es hoy en día un gran reto debido a diferentes factores: las limitaciones de ancho de banda, algunas dificultades en mantener una alta fiabilidad, la calidad, la latencia, además de grandes demandas impuestas por las aplicaciones multimedia.

En la actualidad con una red móvil Long Term Evolution (LTE) desplegada, todavía se necesitan soluciones, pruebas que ayuden a mejorar el almacenamiento y distribución de contenido multimedia. A pesar de tener altas velocidades de transmisión, la transmisión streaming a través de una red móvil LTE, todavía se encuentra en etapas iniciales con respecto a lo que podría llegar a ser. Actualmente el crecimiento de Internet es ampliamente conocido, tanto en el número de clientes como en el tráfico generado por estos clientes. Una de las soluciones implementadas pensando en este gran crecimiento en internet; para la distribución de contenidos multimedia y en especial el streaming de video es el empleo de una Red de Distribución de Contenidos (CDN, Content Delivery Network).

Las CDN's nacieron a finales de los años noventa, y, como su nombre nos indica, es una red de servidores que se encuentran en ubicaciones geográficas estratégicas para la distribución de contenido multimedia, en general, las CDN se usan para albergar y distribuir los contenidos estáticos de un sitio web (imágenes, documentos, etc.) pero, también, para la distribución de los contenidos principales de una web (las páginas web propiamente dichas) u otros medios como el vídeo en streaming, el presente trabajo muestra principalmente a las CDN's trabajando en la distribución de video. Su ventaja, frente a otras soluciones, radica en que, como la red está compuesta por varios servidores en diferentes ubicaciones geográficas, cuando se hace una petición a la CDN, ésta busca el servidor que está más cerca del usuario y lo utiliza para satisfacer su petición, siendo mucho más rápida que una red tradicional.

Este tipo de redes son altamente escalables, permiten una gestión total sobre los recursos multimedia. Esto permite realizar una evaluación de las prestaciones de una CDN para la distribución de contenidos multimedia, especialmente en este trabajo para la distribución de video. Haciendo la integración del streaming de video adaptativo, el uso de una infraestructura CDN y la Red Móvil LTE podemos tener una mayor probabilidad de que la calidad percibida por el usuario, en la distribución de video pueda ser cada vez mejor.

## 1.1 Presentación

Las redes de distribución de contenidos son redes de nivel de aplicación. Ello representa una capa de gestión inteligente que se encuentra superpuesta a una infraestructura clásica de red. El integrar el uso de una CDN, el streaming de video adaptativo y la red móvil LTE para la distribución de video puede tener varios beneficios, además de distintas mejoras en funcionamiento, es claro que estos beneficios pueden ayudar a mejorar las prestaciones recibidas por los usuarios finales. Las redes de distribución de contenidos abarcan una gran parte de internet, a pesar de estar tan fuertemente desplegada ciertos aspectos internos de funcionamiento son totalmente desconocidos, no están especificados por los proveedores o simplemente no están disponibles para el público ya que es claro la gran competitividad comercial que existen entre los diferentes proveedores de CDN's.

Un fenómeno parecido ocurre con el Streaming de Video Adaptativo, podemos ver claramente la competencia entre las diferentes empresas líderes en tecnologías. Varias empresas líderes en tecnologías e investigación presentaron sus propias versiones para realizar streaming adaptativo sobre HTTP. Por esta razón existen algunas soluciones comerciales para los problemas generales referentes al streaming en HTTP, como por ejemplo Microsoft Smooth Streaming [1] y Adobe Dynamic Streaming [2], se están posicionando día a día en el mercado de transmisión de video, así como proyectos de referentes al streaming adaptativo. HTTP Streaming Adaptativo (AHS) se normalizó por primera vez en la versión 9 del 3GPP con paquetes conmutados por streaming

(PSS)[3]. MPEG tomó 3GPP y AHS como punto de partida para su recién publicado DASH estándar MPEG [4]. 3GPP siguió trabajando en la adaptación de la comunicación HTTP streaming con MPEG y publicó recientemente el 3GP-GUIÓN (Dynamic Adaptive Streaming sobre HTTP) [5], si revisamos un poco las especificaciones técnicas de estos protocolos y estándares podemos ver claramente que son bastante similares. Pero al igual que en las CDN's el funcionamiento interno es desconocido o no está especificado claramente para el público.

Este trabajo pretende, en primer lugar, describir e analizar las redes de distribución de contenidos para la distribución de video digital. Basándose principalmente en estándares y protocolos abiertos comúnmente utilizados en el mundo de la telemática. Actualmente el uso de infraestructuras CDN's está prácticamente orientada hacia la distribución y transmisión de video. Lo que justifica el carácter novedoso del presente estudio, analizar el encaminamiento y re-dirección de usuarios en una estructura CDN's para el streaming de video.

En definitiva se desea analizar una red de distribución de contenido, incluyendo en la misma la capacidad de distribución de streaming media, evaluar y hacer una comparación en base a las principales características de las redes de distribución de contenidos.

## 1.2 Motivación

Desde la introducción de los primeros productos comerciales en los años 90, la transmisión de contenido multimedia a través de la web se ha posicionado como uno de los servicios más influyentes hoy en día. Pero la transmisión vía streaming de contenidos no está exenta de problemas. El incremento de la popularidad de los servicios de audio y vídeo en Internet viene acompañado de la exigencia de mayor calidad de imagen por parte de los usuarios: los usuarios cada vez hacen un uso más intensivo de este tipo de servicios y los proveedores intentan ofrecer vídeo de mejor calidad para responder a esas necesidades. Con una gran cantidad de dispositivos con tecnología de video en alta calidad, cómo las nuevas televisiones, tabletas y dispositivos móviles y ordenadores, es necesario investigar, realizar pruebas en el streaming de video digital.

Las CDN's son una parte fundamental para llegar al desarrollo eficiente de esta tecnología, comparando con el modelo cliente servidor tradicional, el investigar sobre el modelo de Redes de Distribución de Contenidos (CDN's) para la distribución y transmisión de video digital, es un punto a favor alcanzar mejor calidad en los parámetros de reproducción tecnologías de video. Las CDN's permiten un mayor control y monitorización total de los recursos multimedia y particulares de cada CDN.

### 1.3 Definición del problema

Se quiere analizar y evaluar las tecnologías de encaminamiento y re-dirección de usuarios en una estructura de Red de Distribución de Contenidos (CDN) que permitan mejorar la calidad de transmisión y distribución de video digital sobre una Red móvil LTE. Para mejorar la percepción del usuario final en los servicios de streaming adaptativo sobre http, analizando aspectos internos de funcionamiento de estas tecnologías, los cuales son desconocidos, no están del todo especificados, o no son públicos

### 1.4 Objetivos

Tomando como inicio un escenario virtual en VNX, propuesto por el departamento de investigación de la ETSIT, es necesario realizar un estudio, análisis e investigación de los sistemas de video adaptativo sobre una estructura CDN. . Es muy importante en sectores relacionados con la distribución de contenidos multimedia de alta calidad, ya que permite dotar de cierta calidad de servicio a los servicios de vídeo streaming, adaptando la tasa de transferencia a la disponibilidad de ancho de banda en la red de acceso móvil LTE del usuario, donde las condiciones del canal son cambiantes y los recursos son limitados, los sistemas de vídeo adaptativo tienen una aplicación práctica muy importante en sectores relacionados con la distribución de contenidos multimedia de alta calidad.

#### A. Objetivo General.-

Creación de una plataforma virtual, para analizar el impacto de las CDN's y su estructura, para el almacenamiento y distribución de video digital basado en DASH, sobre una red móvil LTE emulada.

#### B. Objetivos Específicos.-

Estudiar el estado del arte y las tecnologías de streaming adaptativo. Enfocados principalmente en el conocimiento de las estructuras CDN's.

Analizar las prestaciones de una CDN en un entorno virtual, con especial interés en el método de redirección de usuarios y su efectividad, comparando las características de redirección.

Describir las arquitecturas y principales funciones de una CDN para streaming de video adaptativo sobre LTE, como las posibles ubicaciones de los clientes, la redirección y las estrategias de distribución de contenido entre surrogates.



## 1.5 Limitaciones

La principal limitación del presente estudio es el tiempo que se dispone para comprender, estudiar y analizar las tecnologías de distribución de video adaptativo, especialmente la aplicación dash.js, es importante tomar en cuenta que esta aplicación está siendo modificada y actualizada de manera constante; por los diferentes proveedores y empresas de desarrollo tecnológico en DASH.

Otra de las limitaciones fue la cantidad de conocimientos previos en esta tecnología, siendo para mí un campo de conocimiento nuevo, pero de gran motivación por las características y futuro que conlleva estas tecnologías.

## 1.6 Metodología y Medios

El estudio de las tecnologías propuestas de deben abordar desde diferentes perspectivas: en primer lugar analizar e investigar las diferentes tecnologías, en segundo lugar tomando como punto de partida un escenario de virtual en VNX realizar el análisis y la apreciación de ciertos comportamientos de streaming de video sobre LTE. Destacar que los modelos de emulación y virtualización permiten evaluar de una mejor manera el funcionamiento de una CDN para streaming de video sobre LTE en la vida real. En la medida posible, se intentará caracterizar y contrastar los diferentes métodos de encaminamiento y re-dirección de usuarios, comparado con otras entidades y empresas que trabajan en el ámbito de la CDN.

Son varios los campos en los que se puede profundizar en estas tecnologías de distribución de video:

- Análisis de tráfico.
- Redirección de usuarios.
- Ubicación de surrogates.
- Selección de surrogates.
- Streaming.
- DashJS.
- Mecanismos de Caching.

Es necesario establecer los principales medios y recursos que serán utilizados a lo largo del desarrollo del trabajo.

1. *Plataforma de Documentación Científica.*- serán utilizadas las diferentes plataformas de documentación científica para el estado del arte, Ingenio UPM, Bases de datos del CSIC, Web of Knowledge, Sitios web focalizados en ciencia y tecnología.
2. *Virtual Network over Linux VNX.*- será una base fundamental en el desarrollo del trabajo, esta es una herramienta de virtualización en código

libre de uso general diseñada para ayudar a la construcción de bancos de pruebas virtuales de red, Permite la definición y la implementación automática de escenarios de red. Fue desarrollada por el Departamento de Ingeniería de Sistemas Telemáticos de la Universidad Politécnica de Madrid.

3. ***Software y Sistemas relacionados a DASH.-*** se utilizara diversos programas y sistemas de código libre o versiones de evaluación, para realizar el almacenamiento y distribución de video adaptativo mediante el estándar DASH.
4. ***Recursos Informáticos.-*** serán utilizados una variedad de recursos informáticos, como pueden ser dispositivos, ordenadores, etc.
5. ***Recursos Bibliotecarios.-*** es necesario para el desarrollo del trabajo utilizar una serie de consultas a libros, sistemas de información y trabajos relacionados con el tema.

## 2 Estado del Arte

El aumento de la demanda en los nuevos servicios de telecomunicaciones a lo largo de los últimos años ha traído nuevas y mayores exigencias en el streaming de video, siendo estas cada vez mayores. Es necesario atender a estas exigencias el presente estado del arte tiene como finalidad fundamental introducir los principales conceptos acerca de las redes de distribución de contenidos, el streaming de video adaptativo y las redes de telecomunicaciones LTE.

En la actualidad, existe documentación reducida y algo compleja sobre los sistemas de video DASH y las CDN's en general, siendo bibliografía de referencia [6][7][8][9]. Aunque únicamente estos autores describen los principios básicos de funcionamiento y operación de las CDN's, servirá para realizar revisar y estudiar más acerca de estas tecnologías. Por otra parte existen contribuciones relacionadas mucho más recientes que están orientadas a las tendencias actuales, como la incorporación de contenidos multimedia [10], redes de telefonía móvil [11][12], sistemas de IPTV [13], además también bibliografía acerca el streaming de video adaptativo [14][15][16][17].

La intención de este capítulo es analizar y resumir toda esta información en un documento único y con un marco lógico coherente, describiendo tanto los aspectos básicos como los avanzados en las tecnologías mencionadas, haciendo hincapié en los nuevos retos de investigación tecnología y las líneas de proyecto e implementación en este campo.

### 2.1 Redes de Distribución de Contenido

En resumen una red de distribución de contenidos (CDN), emerge como la solución al actual problema que presenta una red centralizada: lograr bajo tiempo de respuesta y mínima pérdida de información, moviendo el contenido de la información más cerca de los usuarios. El objetivo es lograr un equilibrio entre los costes y la calidad de servicio para los usuarios finales.

Una red de entrega de contenidos (CDN) es una red superpuesta de servidores que contienen copias de datos, colocados en varios puntos de una red con el fin de maximizar el ancho de banda para el acceso a los datos de clientes por la red. Un cliente accede a una copia de la información que esté alojada en el servidor más cercano, en contraposición a todos los clientes que acceden al mismo servidor central, a fin de evitar embudos cerca de ese servidor.

#### 2.1.1 El crecimiento de Internet.-

El propósito de esta sección no será estudiar de una manera totalmente detallada el concepto de Internet y sus tecnologías, sino justificar que el crecimiento de nuestra popular red de redes requiere de nuevos mecanismos para la distribución de los

contenidos multimedia de una manera mucho más eficiente, como son las Redes de Distribución de Contenidos.

La forma en la que podemos estudiar y medir el uso de Internet es variable en la mayor parte de los estudios e investigaciones realizadas en este tema, se toma como referencia los datos de la ITU [18], como también empresas dedicadas a realizar este tipo de estadísticas [19].

**Tabla 1. Uso de Internet y estadística poblacional(Fuente: Internet World Stats)**

Región	Población ( 2012 )	Usuarios de Internet (31/12/2000)	Usuarios de Internet (actualmente)	Penetración (% población)	Crecimiento 2000-2012	Usuarios (%)
África	1,073,380,925	4,514,400	167,335,676	15.6 %	3,606.7 %	7.0 %
Asia	3,922,066,987	114,304,000	1,076,681,059	27.5 %	841.9 %	44.8 %
Europa	820,918,446	105,096,093	518,512,109	63.2 %	393.4 %	21.5 %
Oriente Medio	223,608,203	3,284,800	90,000,455	40.2 %	2,639.9 %	3.7 %
América del Norte	348,280,154	108,096,800	273,785,413	78.6 %	153.3 %	11.4 %
Latinoamérica	593,688,638	18,068,919	254,915,745	42.9 %	1,310.8 %	10.6 %
Oceanía	35,903,569	7,620,480	24,287,919	67.6 %	218.7 %	1.0 %
<b>TOTAL</b>	<b>7,017,846,922</b>	<b>360,985,492</b>	<b>2,405,518,376</b>	<b>34.3 %</b>	<b>566.4 %</b>	<b>100.0 %</b>

Podemos hacer una comparación por regiones con la información mostrada en la Tabla 1. Podemos apreciar como EEUU es uno de los principales país con mayor penetración en Internet, seguido por Oceanía y Europa. Pero podemos notar un crecimiento amplio a nivel mundial y este es un aspecto fundamental para enfrentar las nuevas aplicaciones de Internet.

La población móvil crece continuamente y se estima que a finales del 2013 existirán más dispositivos móviles que personas en el mundo. En línea con esta tendencia el contenido de vídeo digital es cada vez más consumido en dispositivos móviles, año tras año este tipo de tráfico se incrementa considerablemente. Por ejemplo en el 2011, el 25% del total mundial de visitas a YouTube se dieron a través de dispositivos móviles, cuantitativamente se trata de aproximadamente mil millones de visitas al día [20].

Cisco ha venido realizando estimaciones de crecimiento de tráfico y en su último informe anual prevé que el tráfico mundial de datos móviles se incrementará 13 veces entre 2012 y 2017. Además indica que crecerá a una tasa compuesta de crecimiento anual (CAGR) de 66% desde 2012 hasta 2017, llegando a 11,2 exabytes por mes en 2017 como se observa la Figura 1. También mencionan que el tráfico de vídeo móvil superó el 50% del total de tráfico por primera vez en 2012, alcanzando el 51% a finales de 2012, confirmando las nuevas tendencias de consumo de este contenido a través de dispositivos móviles [21].

### 2.1.2 Streaming de Contenidos.-

En muchas ocasiones el concepto de streaming es considerado, como la reproducción de un flujo de audio o video. Se puede realizar una descripción más acertada de esta forma poder distinguir entre un streaming real y la simple reproducción de ficheros de audio o video cuando fueron previamente descargados.

En realidad el concepto de streaming puede ser aplicado a cualquier contenido, como texto e imágenes, aunque típicamente es asociado al sonido y video. Como ejemplos de este tipo de aplicaciones podemos citar el video bajo demanda y la radio sobre Internet. En este estudio se analizará este tipo de contenido en un entorno de CDN, teniendo en cuenta algunas categorías principales como el Streaming bajo demanda, que consiste en enviar el contenido pre almacenado en un servidor a múltiples usuarios en tiempos diferentes.

A principios del año 2000, por su gran acogida y popularidad el tráfico web en internet sobre paso al resto de aplicaciones sobre internet. Era necesario un nuevo método para la distribución de contenidos conjuntamente la popularización de las Redes P2P, comenzaron apareciendo los entornos CDN's como Akamai. A partir del año 2002 Akamai pasa a ser una CDN muy importante, sin ninguna duda. En los últimos años algunas CDN's de cobertura mundial han ido incorporando contenido multimedia y una de las principales funciones de las CDN's es realizar la distribución de contenidos multimedia, actualmente es muy utilizada por proveedores de streaming de video como NetFlix, YouTube, entre otros. Efectivamente, Youtube ([www.youtube.com](http://www.youtube.com)), que emplea una infraestructura de CDN servida por Akamai, es responsable desde 2007 de más del 10% del tráfico total generado en Internet. Según un estudio de la empresa Ellacoya, ahora integrada en Arbor Networks [22], realizado en 2007, el 46% del tráfico total de Internet es generado por tráfico HTTP, mientras que sólo el 37% procede de P2P. Este dato contrastaba con el 65% de tráfico P2P tan sólo dos años antes. Respecto al tráfico HTTP, un análisis indica que el streaming de audio y video representa el 41%, y la mitad de éste está originado por Youtube. Tanto el texto como las imágenes web siguen usando ligeramente un mayor ancho de banda (46%), pero ya se apuntaba que esta tendencia no duraría mucho. Actualmente empresas como Ipoque buscan analizar el tráfico en internet a través de sus dispositivos y software especialmente diseñados, Internet Observatory es un servicio creado por esta empresa en el cual podemos ver y analizar el tráfico de internet de pequeña a mediana escala. En la figura 1 podemos ver uno de los gráficos generados el año pasado por la empresa.

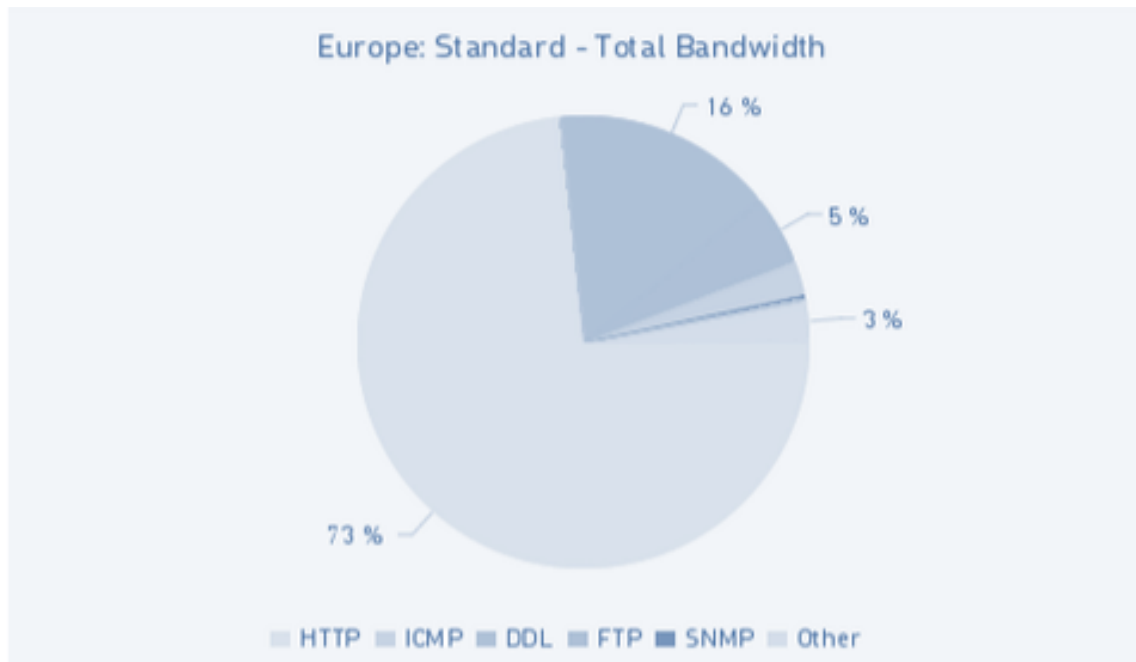


Figura 1. Porcentaje total de tráfico de Internet (Fuente Ipoque)

En nuestros días es un poco más complicado informar si la mayor parte del tráfico en Internet es debido a P2P o http, ya que ambos incluyen contenido multimedia de gran tamaño a diferencia de lo que acontecía 8 años atrás. Además de YouTube aparecieron sistemas de nube, sistemas para descarga de archivos, que permiten compartir contenido multimedia.

### 2.1.3 Evolución de las CDN's.-

En los últimos 20 años pudimos ver y presenciar como el servicio web ha evolucionado desde una simple aplicación de Internet, que era utilizada por científicos e investigadores hasta convertirse en un fenómeno comercial del cual hoy en día son dependientes muchas empresas millonarias. Sin embargo este gran crecimiento en la red, la rápida evolución de las velocidades de conexión, el incremento en la complejidad de los sistemas y contenidos de nuestros días representan un gran desafío a la hora de gestionar y entregar contenido a los usuarios. Cualquier reducción de calidad del servicio, o un elevado retardo en el acceso de contenidos multimedia produce frustración en el usuario y provocar un abandono del servicio o del sitio web en particular.

El crecimiento de Internet descrito anteriormente conduce a un escenario donde la capacidad de red puede verse desbordada por una demanda excesiva de tráfico en el dominio espacial (algunas subredes dentro de Internet) y temporal (en algunos momentos puntuales). Esto se conoce como congestión espacial y temporal, respectivamente, y algunos protocolos, como TCP, ya incorporan en su diseño mecanismos de funcionamiento para prevenir la congestión. Por otro lado, la incapacidad de los servidores para satisfacer todas las peticiones solicitadas también

puede degradar la calidad del servicio obtenido. La Figura 2 muestra un escenario genérico de conexión sobre redes IP.

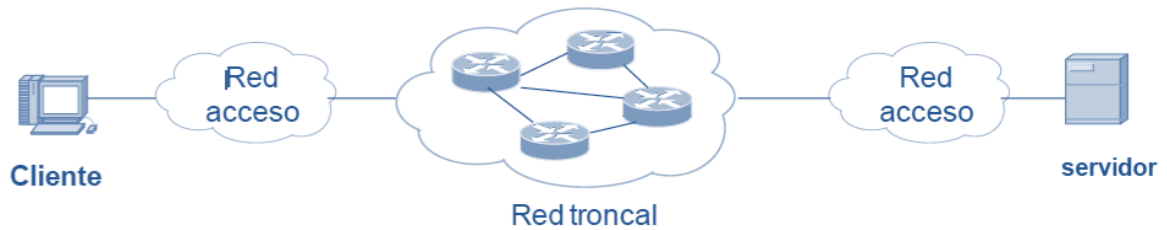


Figura 2. Escenario general de conexión Cliente/Servidor

Podemos ver como la comunicación entre un cliente y servidor atraviesa de un modo sencillo por varias fases, antes de llegar al destino final. El retardo en cada una de estas repercute en el tiempo de respuesta global experimentado por el usuario. Pensando en el enorme tamaño de Internet en la actualidad este simple modelo Cliente/Servidor se convirtió en algo mucho más complejo, teniendo desde problemas de latencia, hasta problemas con el NAT para las direcciones IPv4.

Una de las soluciones implementada para estos problemas que surgieron está basada en la distribución equitativa de distribución de contenidos, estas tecnologías permiten soportar de una mejor manera los picos de carga, servidores sobrecargados y son bastante escalables al momento de distribuir contenido en Internet. Estas aproximaciones y desarrollos deben ser contemplados como una evolución del modelo tradicional Web donde se busca una red de contenido más dinámica. Los pasos de esta evolución se pueden concretar en una serie de acciones fundamentales:

- **Distribución de carga en un sitio centralizado:** consiste en agrupar lógicamente varios servidores físicos creando una granja de servidores (*server farm*).
- **Distribución de contenido con servicios centralizados:** implica distribuir el contenido a ubicaciones cercanas al cliente de tal forma que se agiliza el acceso.
- **Distribución de contenido y servicios:** en este modelo, no es suficiente distribuir contenido estático a las cercanías del cliente, sino también ciertos servicios, como puede ser el ensamblado de contenido personalizado o la adaptación de contenido para dispositivos inalámbricos.

Las tecnologías descritas en el anterior punto han recibido diferentes denominaciones al transcurrir de los años hasta prácticamente evolucionar a las CDN's. El término contenido (content) se refiere a cualquier tipo de información que se encuentra disponible para otros usuarios en Internet. Esto incluye, entre otros, a

páginas web, imágenes, documentos de texto, ficheros de audio y vídeo, así como descargas software, difusiones, mensajería instantánea y formularios.

Como puede apreciarse, el contenido no está sujeto a ningún tipo de medio, de hecho, un contenido puede estar formado a su vez por varios contenidos de distinto tipo de medio, lo que se conoce como contenido multimedia.

El término red de contenido (content network) consiste en una red de comunicación que despliega en su infraestructura una serie de componentes que operan en los protocolos de nivel 4-7. Estos componentes se interconectan entre ellos, de tal forma que conforman una red virtual sobre la infraestructura de red existente [23].

De una manera general, una red de contenido requiere una serie de componentes funcionales que colaboran para mejorar la forma de distribuir contenido. Estos componentes son:

- ***Distribución de contenido:*** se trata de servicios responsables de mover el contenido desde el origen a los usuarios. Estos servicios pueden ser abarcados por caches web u otros dispositivos que almacenen contenido en puntos intermedios en nombre del servidor origen. El componente de distribución también cubre el mecanismo real y los protocolos empleados para la transmisión de datos sobre la red.
- ***Enrutamiento de la petición:*** se trata de servicios que redirigen las peticiones de los usuarios a la mejor ubicación posible para obtener el contenido solicitado. Dichas peticiones pueden ser servidas tanto por servidores web como por caches web. La decisión de la mejor ubicación en la fase de redirección se toma típicamente en base a parámetros como proximidad de red y disponibilidad de los sistemas y la red.
- ***Procesado del contenido:*** se trata de servicios para crear o adaptar contenido dependiendo de las preferencias de usuario o las capacidades del dispositivo. Esto incluye la modificación o conversión del contenido e incluso de las peticiones de contenido. Algunos ejemplos lo constituyen la adaptación de contenidos para dispositivos inalámbricos o la adición de privacidad al convertir la información personal embebida en las solicitudes de usuario en anónima.
- ***Autorización, autenticación y (AAA):*** se trata de servicios que permiten la monitorización, logging, accounting y tarificación (billing) según el uso del contenido. Esto incluye los mecanismos para asegurar la identidad y los privilegios de todos los participantes en una transacción, así como la gestión de derechos digitales (DRM, Digital Rights Management).



Finalmente es necesario recalcar que para que una Red de Contenidos funcione de una mejor manera es necesario que disponga de todos estos componentes funcionales, aunque por ejemplo el procesado del contenido es un elemento opcional.

#### **2.1.4 Escalabilidad en las CDN.-**

Podemos decir que un sistema es escalable, si su rendimiento medio no se ve afectado de manera significativa conforme aumenta la cantidad de usuarios. Dependiendo del contexto de cada sistema la escalabilidad puede variar y es el administrador o analista el que impone los rangos que serían más aceptables en el sistema.

La escalabilidad en una Red de distribución de contenido, consiste en distribuir equipos que conforman el sistema de distribución de manera estratégica en internet. Las motivaciones o principales características para considerar la distribución mencionada son variadas y diversas:

- En una red corporativa de ámbito nacional o internacional que interconecta diversos puntos puede resultar conveniente ubicar al menos un servidor en cada uno de ellos, para dar servicio de una forma independiente o, en caso de fallo o avería, disponer de una configuración redundante. Evidentemente esto requiere una sincronización y consistencia de datos entre servidores que hay que garantizar de alguna forma.
- Una red de investigación de ámbito nacional o internacional interconecta típicamente diversas universidades y centros de investigación. En este caso, la gestión tiende a ser descentralizada por motivos de flexibilidad, de tal forma que cada universidad o centro que se adhiere a dicha red puede fácilmente colaborar, ampliar y mejorar la capacidad de la red introduciendo uno o más servidores y configurándolos para formar parte de dicha red de investigación. Un ejemplo claro a nivel nacional lo constituye RedIris, financiada por el Ministerio de Economía y Competitividad.
- Otra forma de distribuir contenido a nivel mundial es mediante las redes de nivel de aplicación (overlay networks), cuyos dos mayores exponentes son las redes P2P y las CDNs. En el caso de las redes P2P, cada usuario es potencialmente un nodo del sistema, y dado su ubicación desconocida (al menos a priori) es necesario configurar el sistema partiendo de un sistema distribuido y global. En estos sistemas no se garantiza la disponibilidad del contenido, pues depende directamente del número de usuarios activos y el tiempo de vida de estos en una sesión P2P. No obstante, las redes P2P de compartición de ficheros son altamente empleadas a nivel mundial y proporcionan un servicio relativamente eficaz con ciertos interrogantes legales. Por otro lado, las redes de distribución de contenido (CDNs), como

Akamai o LimeLight, cuentan con el interés corporativo de un proveedor, por lo que sí se proporciona alta disponibilidad y se puede hacer un cierto estudio a priori sobre los servicios que se quieren ofrecer para dimensionar el sistema y permitir un crecimiento de una forma económicamente controlada. En apartados posteriores se abordarán en mayor profundidad estas CDNs.

En cada una de estas arquitecturas o sistemas de distribución de contenidos, uno de los aspectos más importantes para conseguir una escalabilidad eficiente son los mecanismos de encaminamiento, es decir, los procesos que suceden desde que un cliente solicita un contenido hasta que finalmente le llega a un servidor que puede satisfacer dicha petición, varios autores mencionan este proceso como redirección, asociados a los procesos de DNS [24].

### 2.1.5 Web Caching.-

Las técnicas de caching aparecieron a principios de los años 90, como una forma de reducir considerablemente el tráfico de la red en las redes troncales de Internet. Utilizando este método podemos reducir de manera considerable la latencia en nuestro sistema de telecomunicaciones, la técnica de web caching puede tener lugar en dos sitios: en los navegadores web y en los proxies de sistema. Para aplicar este concepto de caching en una estructura CDN es necesario centrarse principalmente en el caching de proxies como muestra la Figura 3.

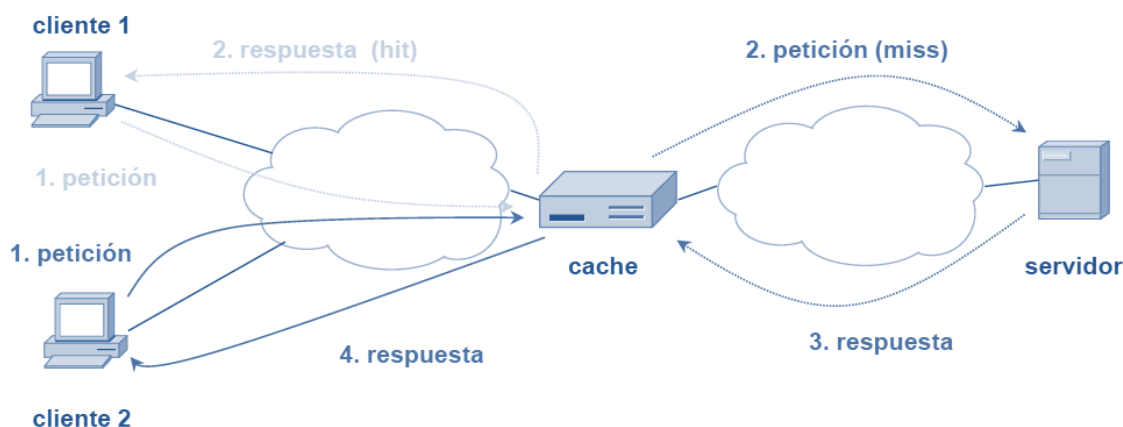


Figura 3. Beneficios del proxy caching.

Sin un proxy caché, todas las peticiones en una red serían cogidas por el servidor, originándose un típico efecto de cuello de botella. Con un cache podemos mejorar las prestaciones de nuestro servicio, la estructura de CDN parte de un concepto similar para mejorar la distribución de contenidos en Internet, específicamente en este estudio para ayudarnos en la distribución de video en un escenario de red móvil. Mejorando la efectividad del streaming. El objetivo principal de una caché es almacenar algunas de

las respuestas que recibe de los servidores origen. En términos generales, se dice que una respuesta es cacheable si se puede usar para responder futuras peticiones [25].

La gestión de la caché es un componente funcional fundamental de un proxy si se desea aumentar el rendimiento, pero este dispositivo también puede cumplir otras funciones, como son:

- **Filtrado:** un proxy puede ser considerado como un cortafuego (firewall) de nivel de aplicación, puesto que intercepta los paquetes entrantes y salientes, por lo que puede permitirles el paso o denegárselo. Asimismo, también permite registrar en un fichero de log la actividad de la comunicación. Actualmente, un servicio de valor añadido es la posibilidad de comprobar en los paquetes entrantes (ficheros adjuntos en los correos) la presencia o ausencia de virus.
- **Compartición de conexiones:** un proxy puede ser configurado análogamente a un servicio de NAT permitiendo la conexión a Internet de múltiples usuarios.

Pero en nuestro estudio nos centraremos principalmente en la generación de contenido dinámico por parte de una estructura CDN basada en caching de contenidos. Proporcionar este tipo de caching dinámico supone ciertos retos, como son:

1. Escalabilidad para soportar el aumento de carga.
2. Flexibilidad para no limitar la distribución de todo tipo de contenido dinámico.
3. Independencia para ser capaz de realizar caching sobre servidores independientes.
4. Beneficioso para que su uso mejore el rendimiento en la generación de contenido dinámico.

Las técnicas tradicionales de caching no son válidas para contenido que atraviesa la red de comunicación entre cliente y servidor en formato streaming. Ello es debido a que los flujos (streams) ocupan un tamaño considerable, además estos pueden parar y reanudarse en cualquier momento, suelen estar caracterizados por una tasa de datos concreta, pueden combinar múltiples orígenes y alcanzar múltiples destinos. Algunos ejemplos de este tipo de contenido lo constituyen programas de audio, de vídeo y streams de datos en tiempo real, como las aplicaciones de monitorización telemétricas.

### 2.1.6 Replicas o Mirrors.-

En muchas ocasiones la carga y descarga de contenidos puede sufrir a menudo retardos que son inesperados. Si el contenido de un servidor es duplicado en múltiples servidores alrededor del mundo, los clientes podrán conectarse a uno cercano para reducir la latencia en el momento de acceso. Esta es una de las principales soluciones

adoptada por las estructuras de Redes de distribución de contenidos, en el presente estudio se definirá si esta selección de la réplica o espejo será seleccionada por el cliente o en su defecto será la gestión en la CDN la que defina la interacción usuario servidor para el streaming de video sobre HTTP.

Dado que los clientes no tienen conocimiento del estado de carga de las réplicas, son incapaces de decidir si una réplica más alejada proporcionará un servicio con una menor latencia.

Una arquitectura reciente, considerada en el ámbito de las CDNs, contempla el caso de una interacción transparente en dos vías posibles.

- **Redirección por parte de la réplica:** Si un espejo está sobrecargado, puede redirigir la petición entrante a otra réplica. Si, además, son conscientes de la carga del resto de servidores, podrán tomar una decisión más acertada.
- **Redirección DNS:** Consiste en centralizar la decisión en la fase de resolución de DNS. El servidor DNS devuelve una lista de réplicas adecuadas a los navegadores, quienes podrán seleccionar uno de ellos de manera automática sin intervención del cliente.

## 2.1.7 Análisis de una Red de Distribución de Contenido.-

Tras realizar y describir las tecnologías que en el transcurrir de los años son más relevantes y por lo tanto están más vinculadas con las CDN's. Este apartado es para centrarnos de lleno en lo que son las CDN's, su funcionamiento, sus distintas arquitecturas, el rendimiento y los servicios a los cuales podemos tener acceso en este tipo de redes. Presentando conceptos básicos que sirven para comprender mejor el funcionamiento hasta los modelos existentes sobre una CDN, para poder más adelante hablar de nuevos modelos de CDN realizar una comparación de sus beneficios especialmente aplicados al streaming de video adaptativo sobre una red móvil LTE.

### 2.1.7.1 Conceptos Básicos de las CDN's.-

Una CDN es una agrupación de varias entidades que colaboran entre si en una red, que puede abarcar hasta internet, donde podemos replicar contenidos de cualquier tipo, en varios servidores (denominados surrogates o réplicas). Ubicados estratégicamente en las cercanías de los clientes finales con el fin de realizar una distribución más transparente, eficaz, estable y rápida que el modelo tradicional.

La colaboración entre surrogates o replicas tiene la principal intención de mejorar la QoS percibida por el usuario, y proporcionar servicios que mejoren el rendimiento en la red, además de maximizar de una manera eficiente la utilización del ancho de banda, mejorando la accesibilidad. Las funciones básicas de una CDN son:

- *Mecanismo de redirección:* para dirigir una solicitud al surrogate más cercano, utilizando mecanismos para evitar la congestión.
- *Servicios de distribución de contenido:* para replicar o cachear contenido desde un servidor origen a los surrogates dispersos en Internet.
- *Servicios de negociación de contenido:* para cubrir los requerimientos concretos de usuarios específicos (o grupos de usuarios).
- *Servicios de gestión:* para administrar los componentes de red, gestionar la contabilidad y monitorizar y reportar el uso y acceso al contenido.

La figura 4 muestra un escenario típico de una CDN donde los servidores, están estratégicamente repartidos en los extremos de las redes de Internet, en este caso en particular supondremos que son surrogates distribuidos por todo el mundo. El contenido puede ser replicado bajo demanda, cuando algún usuario lo solicita, o con una antelación de los administradores dependiendo el tráfico de los contenidos demandados.

En el ejemplo de la Figura 4, el *cliente 1* ubicado en América contactará típicamente con el *surrogate B* en lugar del servidor central, mientras que el *cliente 2* ubicado en Asia contactará con el *surrogate D*, podemos notar la importancia de tener CDN's distribuidas geográficamente, para mejorar de esta manera el retardo en nuestra estructura de distribución de contenidos. La infraestructura de una CDN proporciona típicamente los siguientes servicios y funcionalidades: almacenamiento y gestión del contenido, distribución de contenido entre surrogates remotos, gestión de caching, distribución de contenido estático, dinámico y streaming, soluciones de backup y recuperación ante fallos, monitorización, medidas de rendimientos y reporte de uso[26].

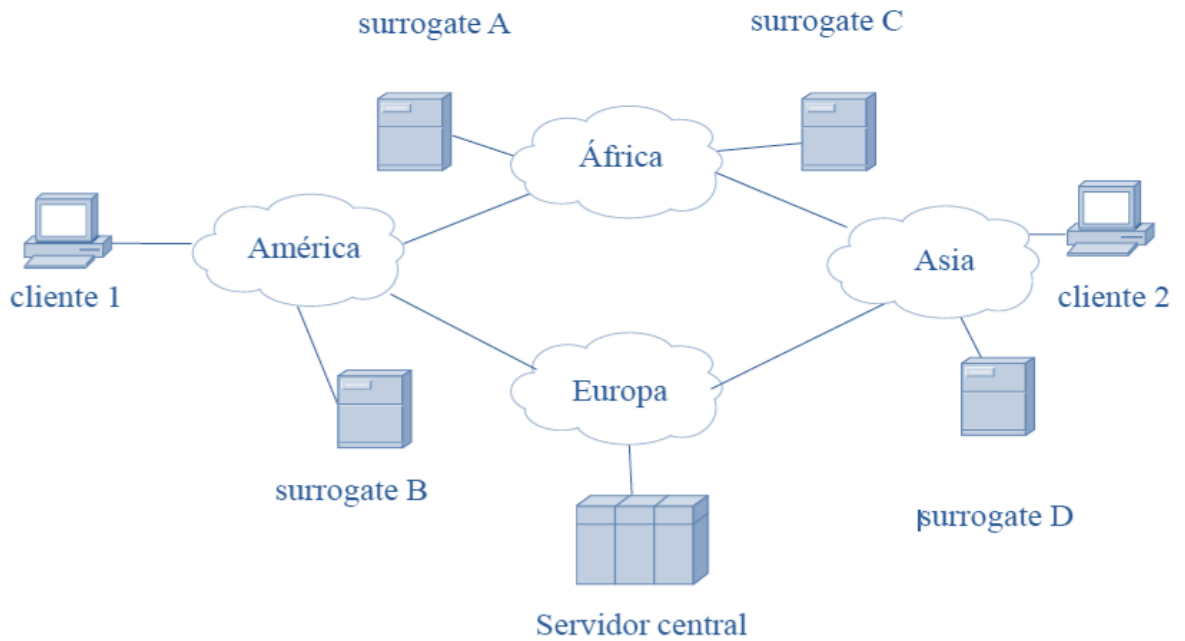


Figura 4. Esquema básico de una CDN

Un proveedor de contenido suele contratar los servicios de un proveedor de CDN de tal forma que su contenido puede ser ubicado en sus servidores. La forma de tarificar suele ser en base al contenido distribuido a los usuarios por los surrogates, por lo que la CDN incorpora un mecanismo de contabilidad (accounting) que monitoriza el uso de la red durante la redirección, la distribución y el envío de contenido al cliente [27].

En la actualidad las CDN's son un negocio muy importante, los costos todavía son elevados por lo que los clientes típicos de una estructura CDN suelen ser grandes empresas, empresas de anuncios y comerciales, los ISPs, operadores móviles, etc. Uno de los factores más importantes que determina el costo o precio están asociados al uso de ancho de banda, la variabilidad del tráfico, el número de surrogates o servidores[28]. En el presente estudio profundizaremos en como una red de distribución de contenidos puede ser utilizada para el streaming de video sobre internet principalmente, tomando en cuenta aspectos importantes que se describirán en los siguientes capítulos.

#### 2.1.7.2 Arquitectura General de una CDN.-

Basando en lo que indica [28], donde podemos describir una CDN que consta de siete componentes: clientes, surrogates, servidor origen, sistema de tarificación, sistema de encaminamiento, sistema de distribución de contenidos y sistema de contabilidad. Que podemos ver claramente ilustrado en la Figura 5, los componentes mencionados, esta arquitectura es el punto de partida para muchos modelos de emulación y simulación en muchos artículos y trabajos de investigación.

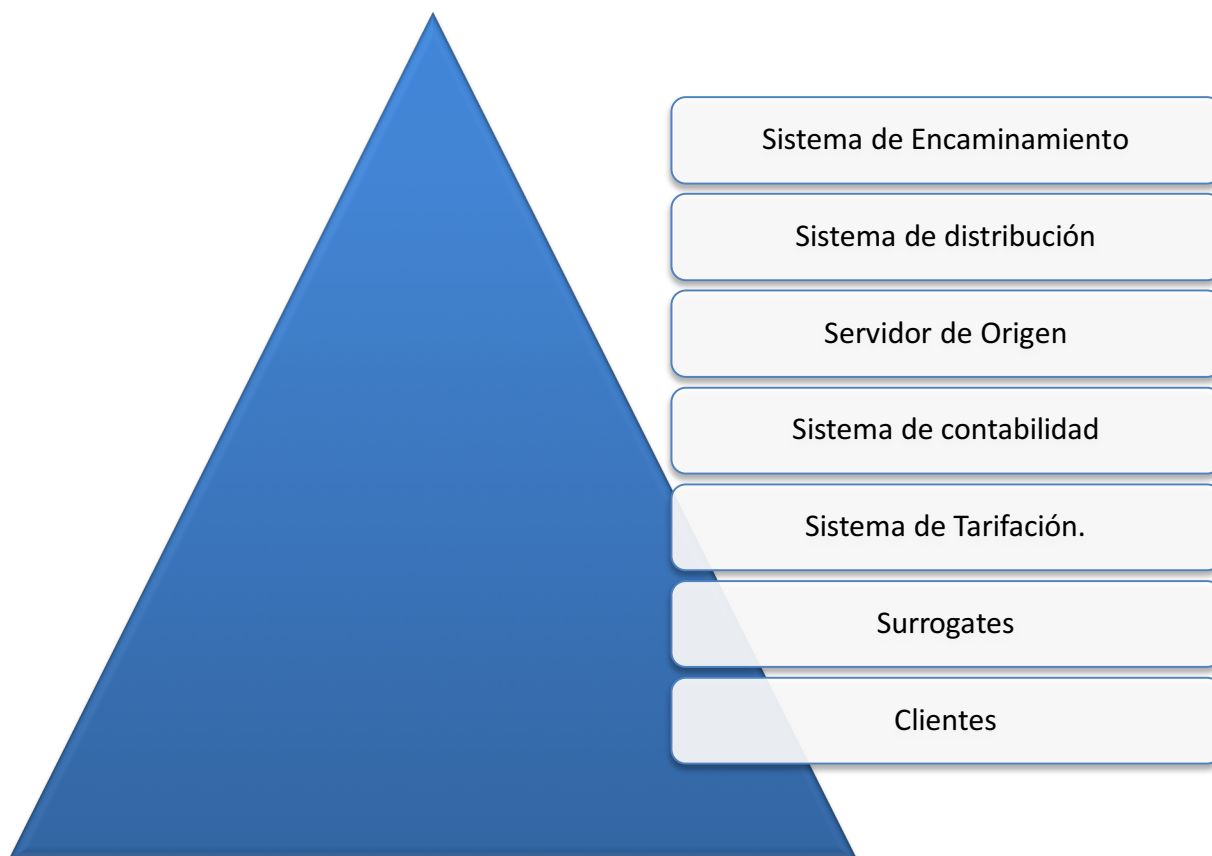


Figura 5. Componentes de una Arquitectura CDN

La relación entre los componentes de la Figura 5 es la siguiente:

- El servidor origen delega su espacio de nombres (URIs) al sistema de encaminamiento.
- El servidor origen publica contenido web que debe ser distribuido por la CDN a través del sistema de distribución.
- El sistema de distribución traslada el contenido a los surrogates. Adicionalmente, interactúa con el sistema de encaminamiento para colaborar en la selección del surrogate más adecuado.
- El cliente solicita un documento web de lo que él percibe como servidor origen, pero la solicitud es realmente redirigida al sistema de encaminamiento.
- El sistema de encaminamiento encamina la solicitud a un surrogate óptimo de la CDN.
- El surrogate seleccionado sirve el contenido al cliente, e interactúa con el sistema de contabilidad.
- El sistema de contabilidad procesa y sintetiza la información obtenida en estadísticas y detalles de uso por contenido, facilitándoselos al servidor origen y al sistema de tarificación o facturación. Las estadísticas también se mandan a modo de feedback al sistema de encaminamiento.

- El sistema de tarificación emplea los registros detallados de contenido para liquidar cuentas con cada una de las partes involucradas en la distribución del contenido. Téngase en cuenta que el sistema de tarificación tiene sentido en las CDNs comerciales.

Para desarrollar los objetivos del presente estudio, el componente más importante que constituye el proyecto es el sistema de encaminamiento, que se describe más adelante con mayor detalle.

### 2.1.7.3 Sistema de Encaminamiento.-

Cuando un cliente se conecta a una CDN, dispone de diferentes mecanismos para seleccionar el servidor al que debe hacer la solicitud. En el caso de una estructura CDN eso muchas veces es realizado en el lado servidor, pero también es realizado en el lado cliente. Existen varios estudios de investigación que analizan algoritmos para mejorar de una mejor manera los sistemas de encaminamiento en una CDN. Pensando en estas características podemos tomar como referencias las diferentes métricas:

- **Proximidad de red:** la distancia entre los clientes y surrogates se calcula habitualmente tomando en cuenta los saltos que existen en la red, con una sencilla aplicación el TRACEROUTE. Aunque muchas veces este método no toma en cuenta el tráfico intermedio y las congestiones en la red.
- **Tiempo de respuesta:** el tiempo de ida y vuelta (RTT, Round Trip Time), medido con una aplicación omnipresente como el PING aporta información sobre la latencia en la respuesta que existe en los servidores. Sin embargo no conduce a tomar las mejores decisiones al momento de realizar el encaminamiento, puesto que el tiempo de vida es altamente variable en Internet.
- **Carga del servidor:** son dos los mecanismos básicos de medida en la carga de servidores: el primero los servidores envían de manera periódica ciertos agentes, mientras que en el segundo caso los agentes son los que directamente solicitan la información.
- **Usuarios:** los usuarios pueden ser clasificados según el tipo de contrato que tengan con la CDN, existen clientes especiales que pagan para ser mejor redirigidos dentro del servicio.

Todas estas medidas son empleadas en los algoritmos de encaminamiento, podemos investigar y desarrollar varias técnicas para realizar la comparación entre ellos, encontrar el mejor caso de uso, más eficiente y con menos retardo dentro de una estructura de CDN.



### 2.1.8 Principales CDNs.-

Podemos tomar en cuenta dos tipos de CDNs más comunes y populares en el mundo de la distribución de contenidos, como lo son las CDNs comerciales y las académicas, aunque la mayor parte de las CDNs que actualmente se encuentran operando en la red están desplegadas y controladas por empresas comerciales; algunas de ellas se han consolidado con el paso de los años, otras se han fusionado con empresas del mismo rubro. En la Tabla 2 vemos una comparación entre las principales CDNs comerciales, pero entre todas ellas no cabe duda que Akamai Technologies sobresale, fundada en 1998 en Massachusetts, EEUU, es líder en el mercado de la distribución de contenidos. Dispone de un gran número de servidores cache distribuidos por todo el planeta, capaces de distribuir tanto contenido estático, como dinámico y streaming media.

**Tabla 2. Redes de distribución de contenidos Comerciales.**

Nombre	Servicios y soluciones	Cobertura
<i>Akamai</i>	Servicios básicos de CDN incluyendo streaming (Edge Platform, Edge Control, NOCC)	80% del mercado. Dispone de más de 25000 servidores distribuidos en 900 redes ubicados en 69 países. Cerca del 20% del tráfico de Internet pasa por estos servidores
<i>EdgeStream</i>	Orientado fundamentalmente a streaming e IPTV (EdgeStream platform)	Proporciona video streaming sobre cable o ADSL por todo el planeta
<i>LimeLight Networks</i>	Live video y VoD, música, juegos y descarga de ficheros (Limelight ContentEdge, Limelight, MediaEdge, Limelight Custom CDN)	Dispone de servidores ubicados en 72 redes alrededor del mundo
<i>Mirror Image</i>	Distribución de contenido, streaming media, web computing (Global Content Caching, Extensible Rules Engine)	Dispone de servidores ubicados en 22 países alrededor del mundo

El sistema de mapeo resuelve un nombre de host dependiendo del servicio solicitado, de la ubicación del cliente y del estado de la red. El sistema DNS también se emplea para hacer balanceo de carga. El sistema DNS de Akamai es realmente complejo y emplea agentes software que se comunican con algunos routers extremos (border routers), de tal forma que se obtiene información a nivel de red BGP (Border Gateway Protocol), para determinar la topología de red.

Por otra parte tenemos también lo que son las CDNs Académicas, al contrario de lo que son las comerciales trabajan más con las tecnologías P2P. Normalmente en este tipo de redes de distribución de contenidos se sigue un esquema descentralizado y la carga se distribuye entre todos los host participantes; de esta forma, el sistema es capaz de afrontar mejor los problemas, fallos y los horarios pico de carga. Las CDNs académicas son particularmente diseñadas para contenido estático únicamente, y son

incapaces de trabajar con contenido dinámico por su naturaleza no *cacheable*. En la Tabla 3, se describirán tres de las principales CDNs académicas, sobresaliendo COMODIN que es la que normalmente trata con servicios de streaming.

Tabla 3. Redes de distribución de contenidos académicas.

CDN	Descripción	Servicios	Disponibilidad
CoDeeN	CDN para pruebas montada sobre PlanetLab. Implementada en C/C++ y testada en Linux(2.4/2.6) y MacOS (10.2/10.3)	Proporciona <i>caching</i> de contenido y redirección de peticiones HTTP	No
Coral	CDN híbrida y gratuita que combina tecnologías P2P. Está ubicada en PlanetLab. Implementada en C++ y testada en Linux, OpenBSD, FreeBSD, y Mac OS X	Proporciona replicación de contenido dependiendo de la popularidad de dicho contenido	Aunque no hay una versión oficial, Coral es gratuito y se licencia bajo GPLv2
Globule Actualmente fuera de servicio	CDN de código abierto ( <i>open source</i> ) colaborativa. Implementada mediante scripting PHP, C/C++ y testada en Unix/Linux y Windows	Proporciona replicación de contenido, monitorización de servidores y redirección de clientes a replicas disponibles	Globule es de código abierto, licenciado bajo BSD y bajo la licencia del servidor HTTP Apache para el módulo correspondiente

COMODIN, es una CDN orientada a servicios de streaming. La arquitectura de esta CDN está organizada en dos planos, el primer plano básico que proporciona servicios de streaming bajo demanda y un segundo plano colaborativo que proporciona servicios de reproducción colaborativa. Este último concepto permite a un grupo formato por varios clientes reproducir y controlar una sesión de video de manera colaborativa y de manera compartida. La reproducción colaborativa se consigue básicamente con el protocolo HCOCOP (*Hierarchical COoperative COntrol Protocol*)[30]. Está formada por distintos componentes como lo son el Servidor de Origen, los surrogates, el cliente, el redirector, el gestor de contenidos, además cuenta con un plano colaborativo el cual tiene sus propios componentes.

### 2.1.9 Clasificación de las CDNs.-

Existen varias investigaciones acerca de las CDNs, además distintos aspectos que demuestran interés en la comunidad científica como son la distribución de contenidos, replicación, *caching* y ubicación de servidores. Sin embargo, en ninguna de las referencias bibliográficas consultadas se encuentra aspectos sobre la categorización o clasificación de las CDNs. Existen cuatro aspectos fundamentales para hacer de una CDN algo especial y diferente, con la finalidad de demostrar las aplicaciones de cada red de distribución de contenidos además de analizar el modo de funcionamiento, nos centraremos en cuatro aspectos que son de importancia:

- **Composición:** hace referencia a los aspectos de organización y arquitectura, clasificando las CDNs en base a sus atributos estructurales.
- **Distribución de contenido y gestión:** se refiere principalmente a la ubicación de los servidores, la selección y distribución de contenido, externalización de contenidos, como se organizan las réplicas y los *surrogates*.
- **Encaminamiento y redirección:** el presente estudio se centra fundamentalmente en este aspecto, estudiando los mecanismos de redirección de clientes para encaminar las peticiones hacia los *surrogates* más cercanos.
- **Rendimiento:** se refiere a todas las metodologías de evaluación de prestaciones en el provecho de gestión de una CDN.

Como se ha descrito anteriormente, las CDNs se pueden formar siguiendo una aproximación de red, donde la lógica se despliega en los elementos de red (routers, switches) para encaminar tráfico a los servidores proxy cachés que son capaces de atender las peticiones.

La relación esta entre los clientes, la red y los servidores proxy-caché, los servidores de proxy en una CDN se pueden comunicar entre ellos. Dentro de este tipo de comunicación dentro de la red los servidores principales pueden agruparse en clúster o en malla, dependiendo los requisitos de distribución de contenidos en nuestra CDN.

## 2.2 Comunicación y gestión de servidores en CDN

La correcta y eficiente gestión de los contenidos en una estructura CDN es fundamental para un buen rendimiento, aplicando diferentes técnicas descritas en el estado del arte para su desarrollo; como el caching, las actualizaciones, etc. Para asegurar la disponibilidad y fiabilidad del contenido. Además. Es posible usar toda la estructura CDN de forma integrada con la finalidad de introducir mejoras potenciales en el sistemas, para realizar esta gestión de encaminamiento existen varios tipos de esquemas internos los cuales vamos a desarrollar a continuación de manera resumida.

En un esquema que se basa en las peticiones un *surrogate* de la CDN realiza la operación de *broadcast* a otros *surrogates*, especialmente cuando se produce un fallo en alguno de los *surrogates* intermedios. El principal problema en este esquema es el exceso de tráfico en la red durante las peticiones, así como el gran retardo ya que el *surrogate* debe esperar hasta la última contestación de fallo para determinar cuál de los *surrogates* no tiene el contenido [31].

En un esquema tipo *digest*, donde cada uno de los *surrogates* dispone de un resumen, el cual se denomina también *digest*, el resumen contiene toda la información disponible de todos los *surrogates* que se actualiza de forma periódica. Consultado este resumen un *surrogate* sabe que a qué otro *surrogate* debe solicitar contenidos en caso

de fallas. El principal inconveniente en este método es la sobrecarga de tráfico en las actualizaciones para garantizar que los surrogates cooperativos disponen de información correcta [32].

En un esquema basado en directorios, no es más que una versión centralizada del esquema *digest*, donde un servidor centralizado almacena la información de la localización de los contenidos en todos los surrogates colaborativos. Los surrogates solo notifican al servidor de directorio cuando se producen actualizaciones, y consultan el directorio siempre y cuando se produce un fallo local. Este mecanismo representa un cuello de botella potencial y un punto centralizado de fallo [31].

En un esquema basado en *hashing*, los surrogates colaborativos emplean la misma función que en hash. Cada uno de los surrogates almacena un cierto contenido en base a las URL de contenido, las direcciones IP de los surrogates y la función hash. Los esquemas basados en hash son los más eficientes al tener menor sobrecarga de implementación, pero no escala bien con peticiones locales y el contenido multimedia ya que las peticiones pueden ser encaminadas a un surrogate lejano [33]. Para solucionar este problema se puede implementar un esquema *semi-hashing*, en este caso un surrogate divide su espacio de almacenamiento en dos zonas, la primera donde se aloja el contenido más popular en la red para los usuarios locales, y una segunda donde se aloja el contenido indicado por la función hash en el modo colaborativo.

En la estructura de servidores es necesario pensar también en los métodos para actualizar la caché entre surrogates, para esto el método más común son las actualizaciones periódicas. Para garantizar una mejor consistencia en los contenidos, el proveedor de contenido configura su servidor origen y proporciona instrucciones para todas las caché acerca del contenido disponible, durante cuánto tiempo estará disponible y cada cuánto tiempo se deben realizar consultas de disponibilidad al servidor origen [34]. De esta forma los surrogates se mantienen actualizados de manera periódica.

Otra forma de actualización en los servidores es un esquema de propagación, esta solo se produce cuando hay un cambio de contenido y se notifica a todos los surrogates sobre el cambio, el problema en este caso es que cuando existen demasiados cambios de contenido, se genera demasiado tráfico de actualizaciones hacia los demás surrogates [34].

En una actualización de surrogates bajo demanda sólo se actualiza el contenido en los surrogates cuando este es expresado explícitamente. La desventaja de este mecanismo es el tráfico generado entre un solo surrogate y el servidor origen, para garantizar el contenido al usuario final se generaría una mayor demora.

El último método de actualización de caches es el de invalidación, donde se envía un mensaje de invalidación a todas las caches cuando se realiza un cambio en el servidor de origen, en este caso todos los surrogates bloquean el contenido hasta que no se tenga una nueva noticia de configuración por parte del servidor origen.

Generalmente, las CDNs comerciales ofrecen a los proveedores de contenido el control sobre el grado de actualidad y garantizan la consistencia entre todos los recursos de la CDN. Por otro lado, los proveedores de contenido pueden crear sus propias políticas de caching específicas. En este caso, el proveedor de contenido debe especificar sus políticas de caching en un formato único de cada proveedor de CDN, quien propaga el conjunto de reglas a sus surrogates.

### 2.2.1 Evolución tecnológica de las CDNs, integración con Cloud Computing.-

Las CDNs han evolucionado en diversas áreas y a partir de diferentes puntos de vista. Teniendo en cuenta el ámbito del tipo de contenido que ofrecen a los usuarios finales. Las CDNs en la actualidad ofrecen todo tipo de contenido, con la aparición de los teléfonos inteligentes, las tabletas, el reto de mejorar la percepción de calidad en el usuario final se ha complicado un poco más en comparación de los métodos tradicionales.

En esta sección se aborda la evolución tecnología de las CDNs, pero también como hoy en día se integra de una manera eficiente con el *Cloud Computing*. Aunque no trataremos a detalle este aspecto, es de gran interés tener conocimiento del tema.

Por un lado, la oferta, prestación y provisión de servicios se está llevando a cabo cada vez más a través de lo que se denomina *Cloud Computing*, y es importante destacar las diferencias y las convergencias de ambos tipos de tecnologías.

Por otro lado, la interoperabilidad y la globalización de servicios requieren infraestructuras y modelos de negocio versátiles y heterogéneos capaces de satisfacer los requisitos actuales y futuros de los clientes. En este sentido, es conveniente y necesario estudiar y analizar un escenario de interconexión entre CDNs para identificar y especificar los requisitos que permitan una adecuada integración entre ellas.

Las características principales del *Cloud Computing* son las siguientes:

- Centralización de aplicaciones, servidores, datos y recursos de almacenamiento.
- Virtualización extensiva de cada componente, incluyendo servidores, aplicaciones, conmutadores, routers, firewalls, etc.
- Automatización y orquestación de tantas tareas como sea posible (configuración, aprovisionamiento, troubleshooting, etc.)

- Elevada confiabilidad de la red.
- Tarificación típicamente basada en el pago por uso (pay-as-you-go).
- Desarrollo de estándares que permiten la federación de infraestructuras cloud.

La integración entre Cloud Computing y las CDNs es necesaria, si bien son tecnologías diferentes hoy en día por los tipos de servicios que se ofrece la sinergia entre ellas es fundamental. Donde más resulta interesante esta fusión es en las aplicaciones de video streaming. En primer lugar la computación en la nube ofrece un espacio de almacenamiento prácticamente ilimitado, para almacenar una gran cantidad de videos, en segundo lugar otro aspecto fundamental es que tenemos una capacidad de procesamiento totalmente disponible y escalable. Con estas dos características de la nube y los mecanismos de distribución en una estructura CDN, permite minimizar latencias, flujos desnecesarios, de esta manera mejorar el consumo de ancho de banda, por lo tanto, mejorar la calidad y percepción del usuario final.

### 2.2.2 CDI (Content Delivery Interconnection).-

Debido al gran crecimiento de las estructuras CDNs es necesario hablar de la interconexión de las mismas. Dado el tamaño de internet se necesita buscar una mejor comunicación entre CDNs, tenemos múltiples servidores desplegados y como en cualquier otro sistema de internet las barreras y limitantes están presentes. La integración de estructuras CDN da un valor añadido al servicio, si gestionamos nuestra propia infraestructura puede proporcionar distribución eficiente con unos tiempos de latencia bajos, pero esta característica cambia cuando la geografía es un inconveniente. Es por ello que es necesario analizar la interconexión de CDNs para mejorar las prestaciones de distribución de contenidos.

Hasta la fecha no existe ningún método de interconexión de CDNs, hay varios intentos experimentales de interconexión con la finalidad de especificar métodos e interfaces, para mejorar las prestaciones en un entorno de distribución de contenidos.

## 2.3 Streaming de Video Adaptativo

En los primeros sistemas de transmisión de audio o video por internet era necesario que los contenidos se enviaran por completo antes de poder reproducirlos. Por tanto un requisito indispensable era disponer de suficiente ancho de banda y espacio de almacenamiento, con esto los tiempos de espera se hacían cada vez más largos, dependiendo de las calidades de video podría llegar a ser tiempos de espera interminables. Como solución a estos problemas se planteó la distribución de este tipo de contenidos en tiempo real, surgiendo así la tecnología de streaming. La figura 6 resume el comportamiento de la transferencia clásica de video y la transferencia de streaming, en el cual podemos apreciar algunas características y diferencias. Ver como

esta tecnología de streaming ha evolucionado la transferencia de contenidos para dar origen a nuevas formas de realizar streaming.

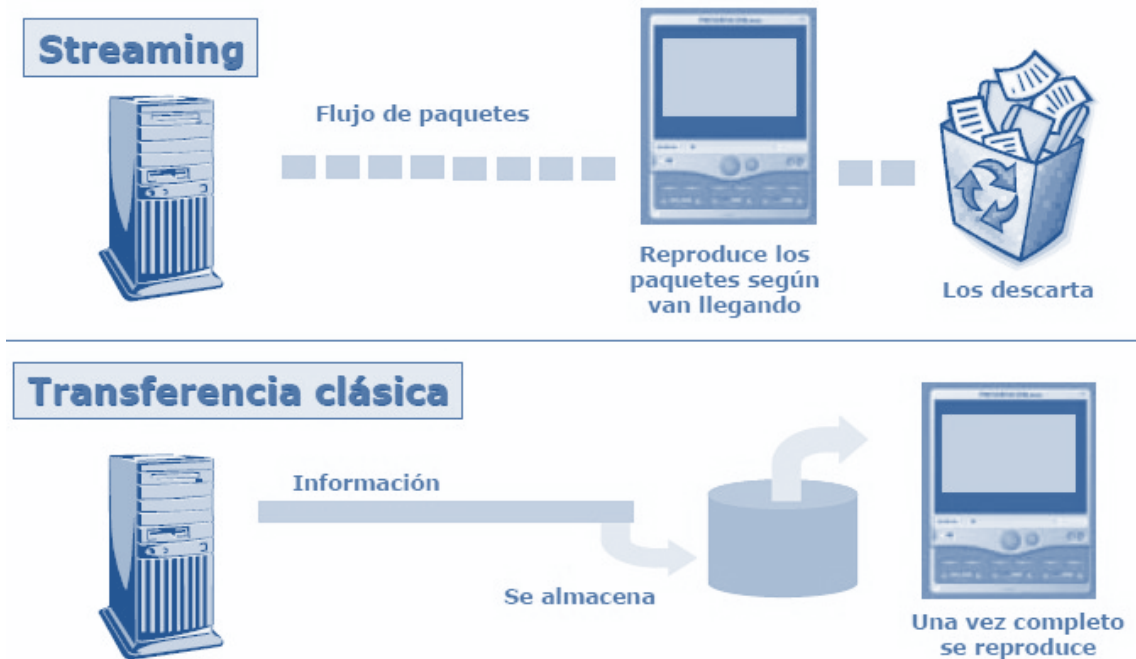


Figura 6. Streaming vs Transferencia Clásica

Sin embargo en la actualidad tenemos una nueva forma para el almacenamiento y distribución de video digital, el streaming adaptativo, este concepto define algo muy sencillo en la teoría, pero algo más complejo de implementar, se trata de adaptar las emisiones de almacenamiento y distribución de video digital al ancho de banda disponible en cada momento por el usuario. Esta opción se contrapone a lo que podríamos llamar como "streaming estático", este tipo de flujo varía la velocidad de transmisión de datos, este tipo de flujo se obtiene mediante la codificación de varias versiones codificadas de video en el mismo archivo y luego entregar el que mejor se adapte a las capacidades de conexión en el usuario.

### 2.3.1 Protocolo DASH.-

Es un estándar para el almacenamiento y distribución de video digital, *Streaming Dinámico Adaptativo a Través de HTTP* (DASH Dynamic Adaptive Streaming over HTTP, por sus siglas en inglés). Este protocolo fue diseñado para atender el crecimiento dramático de video por Internet mediante la definición de un formato de entrega universal, que proporciona a los usuarios finales una experiencia audiovisual mejorada adaptándose a las cambiantes condiciones de la red.

DASH incorpora los mejores elementos de las soluciones propietarias de adaptación de streaming diseñadas para resolver los problemas de los usuarios al acceder a la



secuencia de vídeo como la intermitencia de la señal, la mala calidad de vídeo en condiciones de red cambiantes, y el retardo significativo de vídeo en arranque.

La composición del Grupo de Promotores de DASH representa una sección transversal significativa de los principales actores a través de la cadena de valor de entrega de vídeo y multimedia. Microsoft, Netflix y Qualcomm son los miembros fundadores. Otras compañías que se han sumado al grupo son: Adobe, AEG Digital Media, Akamai, BuyDRM, Digital Rapids, Digital TV Labs, Dolby, EBU-UER, Elemental, Envivio, Ericsson, Harmonic, Intertrust, NDS, Packet Ship, Path1, RGB Networks, Samsung, Thomson, University of Klagenfurt, y Zixi. El objetivo del streaming adaptativo es modular la tasa binaria del vídeo, en función del estado de la red.

Si la red está muy congestionada (es cuando YouTube se para, porque intenta enviarte 6 Mbit/s sobre una ruta hacia tu ordenador que en esos momentos quizá sólo permite transmitir 4 o 5 Mbit/s), DASH es capaz de darse cuenta y baja la tasa del vídeo a la más apropiada. Si en cambio la red está libre, DASH puede subir la tasa y ofrecer una mejor calidad de imagen. La idea principal en la que se basa DASH es disponer del contenido (vídeo pregrabado, canales en directo) codificado a diferentes calidades (tasas, resoluciones, incluso codecs diferentes), y segmentado en tiempo, de manera que el reproductor puede ir cambiando de calidad en cada segmento temporal.

### 2.3.2 Servicios de vídeo para móviles.-

Pensando en la evolución de los dispositivos en la actualidad, es necesario investigar y estudiar sobre los servicios de video para móviles. Los servicios streaming de video móviles incluyen tanto *live streaming* y *Video on Demand (VoD)*. En los dos casos, la entrega y reproducción de contenido multimedia ocurre de manera simultánea permitiendo observar el contenido en línea sin la necesidad de influir en la capacidad de almacenamiento. También en este tipo de *streaming* es necesario reaccionar a las interacciones de los usuarios de una manera rápida y eficiente. El *streaming* es considerado significativamente más eficiente que los servicios de descarga puros en cuanto al uso de la red. Los servicios de streaming para móviles actualmente entregan los datos utilizando HTTP sobre TCP, de forma similar al streaming para terminales fijos.

Los usuarios de dispositivos móviles pueden tener dos maneras de acceder al servicio, ya sea mediante el uso de una aplicación nativa o con el navegador del dispositivo, el cual carga un reproductor de Flash o HTML5 en el inicio de la sesión de streaming.

Una característica común para los servicios de streaming es disponer de un buffering inicial en el cliente para contenidos multimedia que intenta garantizar una



reproducción fluida en presencia de fluctuaciones de ancho de banda y jitter. Este buffering es visible para el usuario como el retraso en la puesta en marcha refiriéndonos a esta fase como Fast Start. El nombre proviene del hecho de que estos datos almacenados en el búfer inicialmente se descargan normalmente a máxima velocidad, es decir, mediante el uso de todo el ancho de banda disponible captado por el dispositivo, mientras que el resto del vídeo no es necesariamente así.

### 2.3.3 Streaming basado en Pull y Push.-

Existen dos tipos de protocolos para la transmisión y recepción de video digital por internet. Primero está el protocolo basado en *push*, consiste básicamente en que después de que un cliente y un servidor establecen conexión., el servidor transmite los paquetes hasta que el cliente para o interrumpe a conexión por algún motivo.

Esto significa que el servidor se mantiene escuchando los cambios en el lado cliente, muchas veces es ayudado por otros protocolos como *Real-time Streaming Protocol* (RTSP), que lleva el control de la sesión y es uno de los protocolos más comunes cuando se utiliza el *streaming* basado en *push*.

Los protocolos de *streaming* basados en *push*, utilizan en su gran mayoría el protocolo Real-time Transport Protocol (RTP) que normalmente trabaja sobre UDP, un protocolo no orientado a conexión y sin mecanismos de control.

En los protocolos de streaming basados en *pull* el cliente es la entidad que activa el contenido y las solicitudes en el servidor. Por lo tanto, la respuesta de servidor depende de las solicitudes del usuario, siempre y cuando, el servidor este activo y disponible para el cliente. La tasa de bits a la que el cliente recibe el contenido depende del cliente y del ancho de banda de red disponible. HTTP como el principal protocolo de descarga de la Internet, es un protocolo común para la entrega de contenidos basados en *pull*, a su vez este trabaja sobre TCP. También se identifica en la capa de acceso a red las dos opciones de conseguir movilidad al consumir servicios de vídeo OTT como es la red Wi-Fi o móvil que son las que brindan acceso a internet a los *smartphones* y tabletas.

La descarga progresiva es uno de los métodos de media streaming basados en pull y de los más utilizados disponibles en redes IP hoy en día. Donde el cliente multimedia realiza una petición HTTP al servidor y empieza a bajar el contenido de este lo más pronto posible. Una vez que el cliente llena un nivel mínimo necesario de almacenamiento en el búfer, se inicia la reproducción sin dejar de descargar el contenido desde el servidor de forma paralela. Mientras la velocidad de descarga no sea menor que la velocidad de reproducción, el búfer del cliente se mantiene a un nivel suficiente para continuar una reproducción ininterrumpida. Sin embargo, si las condiciones de red se degradan, la velocidad de descarga puede caer detrás de la

velocidad de reproducción, lo que podría causar un eventual vaciado de búfer. En toda la sesión de descarga, el cliente recoge de manera dinámica los fragmentos de video para realizar la codificación correcta para la reproducción del video de una manera eficiente.

## 2.4 LTE y Redes Moviles

En el mundo de la telefonía móvil se está en continuo crecimiento y no se para de introducir nuevas tecnologías para ofrecer a los usuarios un mejor servicio. Después de haber pasado por 1G, GSM, 2G, GPRS, 3G, UMTS y la 3.5G, HSPA, ahora estamos en la generación LTE o 4G, que podríamos definir como “all-IP” donde se busca un sistema que permita conjugar una capacidad multimedia con una movilidad plena.

Con LTE (*Long Term Evolution*) se introduce una gran variedad de novedades con los anteriores estándares, pero la mayor novedad es que por primera vez, todos los servicios, incluida la voz, sean soportados por el protocolo IP. Las velocidades que se pueden llegar a conseguir en la interfaz radio con LTE también aumentan respecto a la última generación, llegando a un rango de 100 Mb/s y 1 Gb/s. En esta sección del estado del arte, es necesario conocer un poco acerca de esta tecnología móvil.

En la arquitectura general del sistema LTE, se denomina a la arquitectura del como Evolved Packet System (EPS). La idea es la misma que en las otras generaciones, dividir el sistema en los tres elementos mencionados anteriormente. Un equipo de usuario, una nueva red de acceso que denominaremos E-UTRAN y una red troncal que denominaremos EPC. Todos los componentes que engloban este sistema están diseñados para soportar todo tipo de servicios de telecomunicación mediante mecanismos de conmutación de paquetes, por lo que no es necesario disponer de un dispositivo que trabaje en modo circuito, ya que en el sistema LTE los servicios con restricciones de tiempo real se soportan también mediante conmutación de paquetes.

Se pueden identificar tres elementos principales que constituyen la arquitectura de un sistema de comunicaciones celular:

- **Equipo de usuario:** Dispositivo que permite al usuario acceder a los servicios que nos ofrece la red. El dispositivo del usuario tendrá. una tarjeta inteligente, que comúnmente denominamos tarjeta *SIM (Subscribe Identity Module)*, esta tarjeta contiene toda la información necesaria para que el usuario aproveche lo servicios otorgados por la red.
- **Red de acceso:** es la parte del sistema que se encarga de realizar las comunicaciones, este sistema está basado en quipos de transmisión por radio. Gestiona de manera dinámica y organizaba los recursos radio que estén disponibles de una manera eficiente. La red de acceso está conformada por

estaciones base y equipos controladores de base.

- **Red troncal:** parte del sistema de comunicaciones, esta se encarga del control de acceso a la red celular, autenticando a los usuarios, gestionando la movilidad, gestionando la interconexión de redes, etc.

### 3 Análisis de encaminamiento y redirección de usuarios en una estructura CDN

En este capítulo se realizará un análisis detallado de lo que es el encaminamiento y redirección de usuarios en una estructura CDN ya que es uno de los factores más importantes dentro de una estructura CDN, además es importante para seleccionar el tipo de algoritmo y método a utilizar a lo largo del estudio.

El sistema de encaminamiento de usuarios es responsable de encaminar y redirigir las peticiones de los clientes al *surrogate* mas optimo y adecuado, para servir el contenido solicitado. El caso más sencillo consiste en redirigir la petición del usuario al surrogate más cercado. Sin embargo no siempre el *surrogate* mas cercado es el mejor para satisfacer las demandas de calidad en el lado cliente [35]. Por esta razón es necesario considerar una serie de métricas como son la proximidad en la red, la latencia percibida por el cliente, la distancia y la carga de los surrogates. Todas estas métricas tendrán un gran impacto en el encaminamiento de usuarios y es necesario pensar en ellas cuando vamos a servir contenido dentro de una estructura CDN.

Cualquier sistema de encaminamiento y redirección consta esencialmente de dos partes: el algoritmo de redirección y el mecanismo de redirección [36]. El algoritmo de redirección es invocado cada vez que se recibe una petición e indica como seleccionar un surrogate remoto adecuado para un cliente en específico. Por otro lado, el mecanismo de redirección es una forma de notificar al cliente que surrogate debe contactar.

El proceso de encaminamiento y redirección de usuarios se puede describir en algunos pasos necesarios:

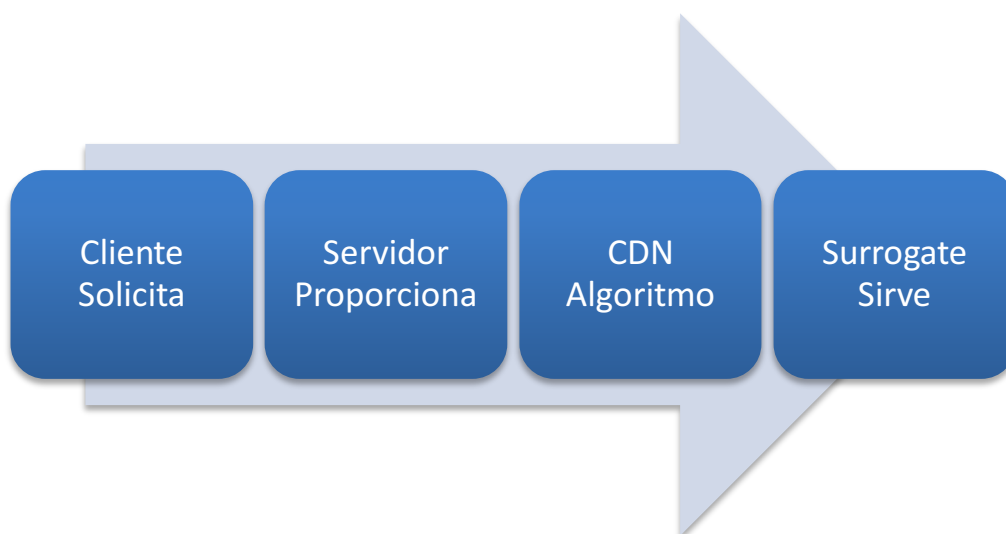


Figura 7. Proceso de encaminamiento y redirección CDN.

- El cliente solicita el contenido de video introduciendo una URL en su navegador, contactando en primer lugar al servidor de origen.
- El servidor origen proporciona solamente información básica como objetos que son de tamaño pequeño, mientras que los objetos de mayor tamaño, o como en nuestro caso de estudio un video, son redirigidos por parte del servidor a un espacio de nombres dentro de la estructura CDN.
- La CDN emplea su algoritmo de redirección para decidir cuál es el surrogate más adecuado al cliente y poder servir los objetos solicitados, para nuestro caso de estudio poder comenzar el streaming de video.
- El surrogate seleccionado obtiene los objetos del servidor origen, entrega el contenido y lo deja en caché para futuras peticiones.

### 3.1 Algoritmos de redirección

Básicamente los algoritmos de redirección de usuarios se pueden clasificar básicamente en dos categorías:

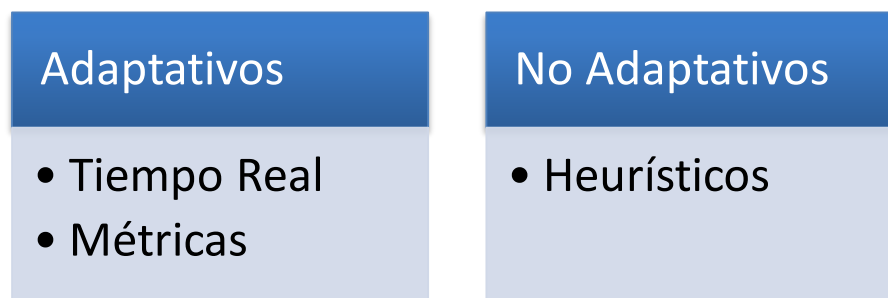


Figura 8. Algoritmos de redirección

Los algoritmos adaptativos consideran siempre las condiciones en tiempo real de la red y los servidores para decidir que surrogate más adecuado a partir de varias métricas como pueden ser la congestión de los enlaces, carga de los servidores, número de saltos, etc. En cambio los algoritmos no adaptativos emplean ciertas heurísticas o parámetros conocidos para tomar decisiones en lugar de considerar las condiciones del sistema o la estructura CDN en tiempo real.

Los algoritmos no adaptativos son más sencillos de implementar, ya que los adaptativos son mucho más complejos al tener que adaptarse a las condiciones cambiantes de la red. Esto hace de los algoritmos adaptativos más robustos que los no adaptativos, especialmente en lo que es streaming de video. El algoritmo de encaminamiento más común y sencillo es uno de tipo *round robin*, que distribuye todas las peticiones a los surrogates de las CDN balanceando la carga entre ellos [37], asume que todos los surrogates tienen las mismas condiciones de red y las mismas capacidades. Este tipo de algoritmos resultan beneficiosos cuando la estructura CDN se encuentra en una misma ubicación física. Sin embargo no son adecuados para una

estructura WAN o de Internet, porque un cliente podría ser redirigido a un surrogate lejano, con una latencia percibida claramente mejorable.

Otro ejemplo de los algoritmos no adaptativos, consiste en que los surrogates se ordenan dependiendo de la carga esperada en cada uno de ellos. Dicha predicción está basada en el número de peticiones que cada servidor ha satisfecho y considera también la distancia cliente-servidor. De esta forma se consigue un balanceo de carga entre los servidores en base a ciertos parámetros importantes. Sin embargo la mayoría de estos algoritmos pueden realizar una redirección a un servidor que se encuentra sobrecargado, lo que degrada el rendimiento percibido por el usuario especialmente para streaming de audio-video.

Karger propone un algoritmo que se adapta a los efectos, baso en el cálculo de una función hash considerando la URL del contenido. Este cálculo determina un encaminamiento eficiente a un anillo lógico de servidores, algunas variaciones de este algoritmo se han centrado en sistemas P2P [33]. *Globule* emplea un algoritmo de encaminamiento adaptativo que selecciona la réplica más cercana a los clientes en términos de proximidad en la red. La estimación métrica de *Globule* se basa en la longitud del trayecto que se actualiza de manera continua. El servicio de estimación de métrica en *Globule* es pasivo, por esta razón no se introduce trafico adicional en la red, sin embargo esta estimación no es muy exacta [37].

Otros algoritmos de encaminamiento adaptativos, están basados en la distancia cliente servidor. En estos, se tiene en cuenta o bien los *logs* de acceso al servidor por parte de los clientes o medidas pasivas de latencia en los servidores. De esta forma, se encamina las peticiones a los surrogates que reportan menor latencia en un determinado instante de tiempo [36].

Akamai, emplea un algoritmo complejo de encaminamiento muy adaptativo enfocado en evitar varias situaciones métricas de la red. El algoritmo considera una serie de métricas específicas, como son la carga de los surrogates, la fiabilidad de las cargas entre cliente-servidor y el ancho de banda disponible en cada surrogate. El primer algoritmo propietario de Akamai y los detalles tecnológicos no están disponibles [38].

## 3.2 Mecanismos de redirección

Los mecanismos de redirección de clientes indican al cliente la selección de surrogate mas optima dependiendo el algoritmo de encaminamiento empleado. Estos mecanismos pueden ser clasificados en base a varios criterios, aunque típicamente se tiene en cuenta la forma de procesar las peticiones en cada estructura CDN.

### 3.2.1 Redirección basada en DNS

En el mecanismo de redirección basado en DNS, los servicios de distribución de contenido se basan en los servidores DNS modificaciones capaces de realizar un mapeo entre el nombre de un surrogate y sus correspondientes direcciones IP. Sabemos claramente que un nombre de dominio puede disponer de varias direcciones IP asociadas. Ante la llegada de una petición de un cliente, el servidor DNS devuelve la lista de IP's de servidores (*surrogates*) que disponen de la réplica de los contenidos solicitados. El cliente selecciona un surrogate de dicha lista, el cliente para realizar una mejor selección de este surrogate lo que hace es mandar mensajes de prueba hacia los surrogates y seleccionar aquel cuyo tiempo de respuesta es menor [33]. También podría tomar información histórica de los clientes basada en el acceso previo a los surrogates. Los proveedores de servicios CDN tanto a nivel global como parcial emplean la redirección por DNS. La ventaja de este mecanismo es la transparencia, ya que los servicios y contenidos quedan referenciados por sus nombres y no por las direcciones IP [34].

El esquema de redirección por DNS es muy popular debido a su simplicidad, independencia y ubicuidad, puesto que está incorporado a un servicio que está disponible en la actual Internet [36]. La gran desventaja de la redirección por DNS es que se incrementa la latencia de red porque se requiere un tiempo adicional en el momento de resolver los nombres de dominio. Los administradores de CDNs enfrentan este problema dividiendo el servicio DNS en dos niveles, para mejorar la distribución de la carga [38].

Otra limitación de la redirección por DNS es que no pueden controlar todas las peticiones debido al sistema de caching interno, tanto en el ISP como en el cliente. Desgraciadamente, en ocasiones el control puede reducirse únicamente a un 5% de las peticiones [38], y resulta muy conveniente evitar el caching en el cliente ya que en caso de error el sistema puede no ser responsivo.

Es importante tomar en cuenta la redirección por DNS para nuestro estudio, aunque dependerá de las prestaciones y disponibilidad del sistema, debemos ser conscientes que cuando un surrogate está más distante este método se complica un poco en comparación al anterior.

### 3.2.2 Redirección basada en HTTP

Propaga la información de los surrogates en las cabeceras de http. El protocolo HTTP permite a un servidor origen indicar a un cliente que servidor debe contactar, la gran ventaja de este mecanismo es su flexibilidad y simplicidad, además de poder gestionar la redirección con una mayor eficiencia [03]. Sin embargo, la redirección HTTP ofrece poca transparencia, al tener que introducir cambios en cada página web; adicionalmente, la sobrecarga en el servidor al gestionar las redirecciones es elevada.

Pese a que la muchas CDNs utilizan DNS como esquema de encaminamiento, algunos emplean las modificaciones de URLs. Normalmente se emplea en la modalidad de replicación donde los objetos embebidos se envían con una URL modificada. En este esquema el servidor origen redirige a los clientes a diferentes surrogates al modificar de manera dinámica la URL de los enlaces de los objetos embebidos, en este método la página principal es siempre servida por el servidor de origen.

El mecanismo de modificación de URLs puede ser proactivo o reactivo. En la modalidad proactiva, se crean las URLs de los objetos embebidos de la página principal antes de cargar el contenido en el servidor origen. En la modalidad reactiva, las URLs se modifican cuando la petición del cliente llega al servidor origen. La gran ventaja de la modificación de URLs es que los clientes no están asociados a un surrogate únicamente, ya que las URLs contienen nombres DNS que apuntan a un grupo de surrogates. Además, se puede conseguir un elevado nivel de dificultad, ya que cada objeto embebido se puede gestionar de forma independiente. La gran desventaja de este mecanismo es el retardo adicional debido a las diferentes URLs otorgadas por el servidor, así como el posible cuello de botella que puede experimentar alguno de estos elementos embebidos

### 3.2.3 Redes de contenido basadas en P2P

Las redes basadas en tecnologías P2P, están formadas por varias conexiones simétricas entre host que son a la vez servidores, distribuyendo el contenido cooperativamente. En estos casos, una CDN puede alcanzar un mayor número de usuarios, si emplea servidores de otra CDN con la que tiene un preacuerdo de interconexión. En realidad es una idea muy similar al modo de trabajo de los ISPs. Entonces tendríamos un proveedor de contenido que establece contrato con un único proveedor CDN, y este proveedor con otras CDNs. Este tipo de CDNs son más tolerantes a fallos, ya que tendríamos replicación de infraestructura, además mejorar las prestaciones para realizar el streaming de video, con la finalidad de mejorar la experiencia de usuarios.

Este tipo de CDNs son muy robustas, además que ayudan a una mejor distribución de contenidos, dado que la red es más tolerante y flexible.

## 3.3 Medidas de rendimiento

Existen varias medidas de rendimiento dentro de una estructura de CDN, tomando en cuenta la capacidad de la CDN para proporcionar a todos sus clientes el contenido y servicio deseado. Generalmente en cualquier CDN se consideran cinco métricas [38][32], por parte de los proveedores para evaluar el rendimiento de una CDN:



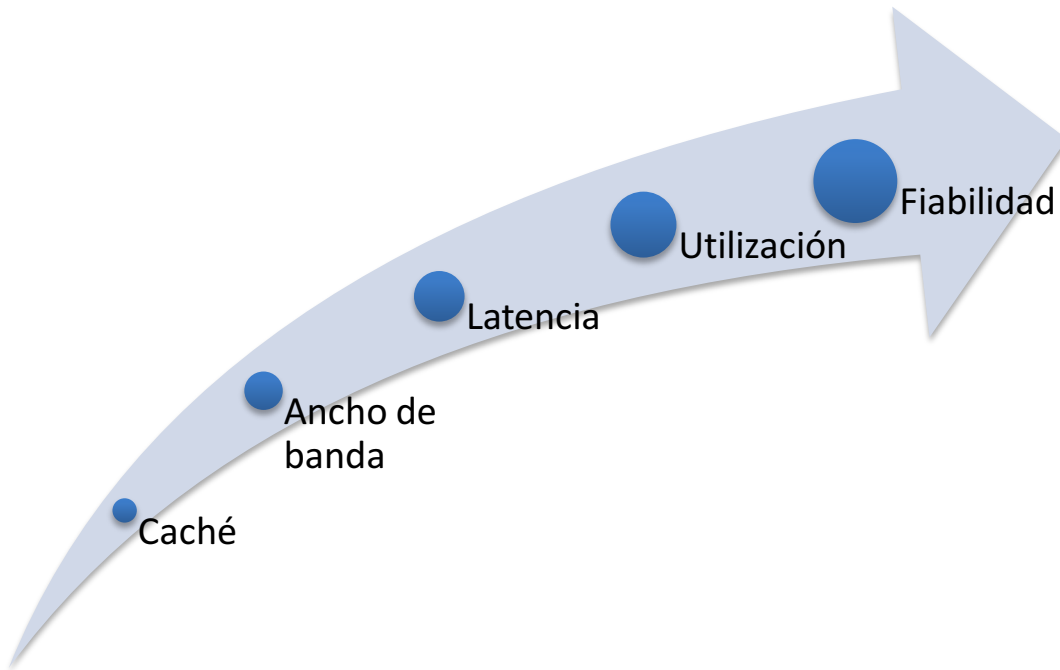


Figura 9. Medidas de rendimiento CDN

- **Cache hit ratio:** se define como el ratio entre el número de objetos cacheados frente al total de objetos solicitados. Un valor elevado de esta métrica indica que la CDN está empleando una técnica efectiva de caching para gestionar sus proxy caches.
- **Ancho de banda reservado:** hace referencia al ancho de banda empleado por el servidor origen.
- **Latencia:** indica el tiempo de respuesta experimentado por el usuario. Un tiempo de latencia reducido indica que el servidor origen requiere menor ancho de banda.
- **Utilización de surrogates:** indica la fracción de tiempo que el surrogate en cuestión está ocupado. Esta métrica permite al administrador calcular la carga de CPU, el número de peticiones servidas y el uso de almacenamiento E/S.
- **Fiabilidad:** las medidas de pérdidas de paquetes se emplean para determinar la fiabilidad de una CDN. Una fiabilidad alta indica que apenas hay pérdidas de paquetes y la CDN siempre está disponible para los clientes.

Las medidas de rendimiento pueden ser internas cuando los servidores de una CDN se equipan con capacidad para recoger estadísticas de uso con la finalidad de obtener una medida de rendimiento extremo a extremo, o pueden ser externas cuando son llevadas a cabo por terceros, permitiendo verificar con mayor fiabilidad el rendimiento de una CDN. Al igual que las auditorías, las medidas de rendimiento externas ayudan a mejorar la calidad de distribución de una CDN, midiendo el rendimiento desde la perspectiva del cliente para mejorar sus prestaciones.

Es importante también tener en cuenta la adquisición de estadísticas de red, para considerar el tráfico y realimentación entre surrogates. Los parámetros más comunes usados para conseguir mejores resultados en estas estadísticas son proximidad geográfica, proximidad de red, latencia, carga de los servidores y el rendimiento general de un servidor.

La monitorización del tráfico es una técnica muy importante en la cual se basa nuestro estudio para poder realizar streaming de video con un algoritmo adaptativo, para mejores resultados en este tipo de técnicas es necesario tener información de tráfico en el lado cliente, pero también en el lado servidor. Otras medidas importantes son la pérdida de paquetes, latencia percibida por el cliente, etc.

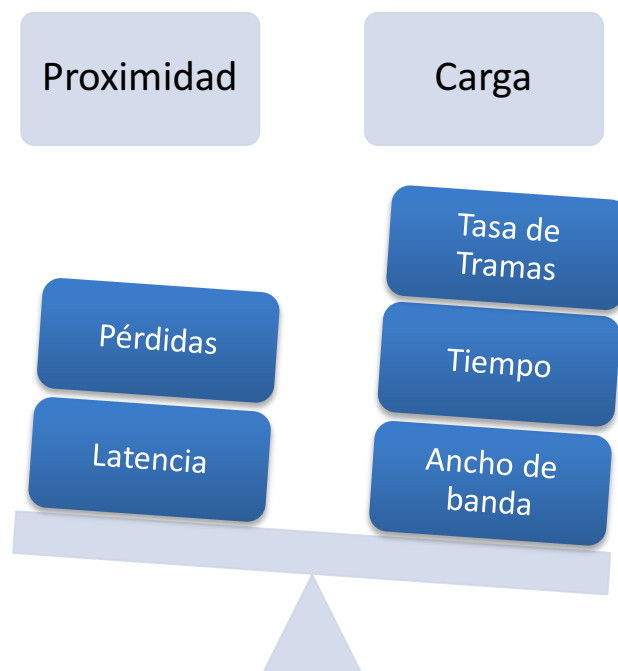


Figura 10. Métricas importantes en una Estructura CDN

- **Proximidad geográfica:** implica identificar a un usuario dentro de una región. Se emplea para redirigir a todos los usuarios de una cierta región al mismo punto de presencia (PoP, Point of Presence). La medida de proximidad de red se deriva típicamente a partir de las tablas de encaminamiento del protocolo BGP (Border Gateway Protocol).
- **Latencia:** la latencia percibida por el usuario es una métrica muy útil para seleccionar el surrogate más adecuado para dicho usuario.
- **Pérdida de paquetes:** la contabilidad de pérdidas de paquetes a través de varias rutas de red permite seleccionar la ruta con menor tasa de pérdidas.
- **Ancho de banda medio, tiempo de arranque, tasa de tramas:** se trata de métricas empleadas para seleccionar la mejor ruta para la distribución de contenido multimedia.

- **Carga del servidor:** la carga de un servidor se puede estimar en base a métricas internas como carga de CPU, carga del interfaz de red, conexiones activas, y carga de almacenamiento. Esta métrica agregada permite seleccionar el surrogate con menor carga.

Además del uso de medidas internas y externas, los investigadores también utilizan herramientas de simulación y emulación para medir el rendimiento de una CDN, ya que el acceso a trazas reales de CDNs comerciales no es posible debido a su naturaleza propietaria.

### 3.4 Comparación de técnicas entre CDNs Comerciales

En esta sección realizaremos una comparación entre las principales CDNs comerciales, con el objetivo de tener mayores criterios al momento de seleccionar una técnica de redirección en el presente estudio.

- **Akamai.-** Esta CDN utiliza un algoritmo potente, un algoritmo de redirección adaptativo que tiene en cuenta la carga de los servidores y otras métricas importantes lo cual hace de Akamai un proveedor de CDN único en el mundo. Combina la redirección basada en DNS con la de URL rewriting, aunque por razones comerciales no se tiene mayor información de su algoritmo y técnicas.
- **Edge Stream.-** Mucho más básico que Akamai esta CDN utiliza básicamente la redirección por http.
- **Mirror Image.-** Utiliza un método de balanceo global de la carga en el sistema, empleando el conocimiento global de la red de surrogates como un DNS inteligente.
- **CoDeeN.-** utiliza un algoritmo de redirección muy potente que tiene en cuenta la ubicación de la petición, la carga total y media en el sistema, la fiabilidad e información de proximidad en la Red. La redirección está basada en http.
- **Coral.-** tiene un algoritmo bastante peculiar, este algoritmo se basa en estimaciones las cuales se fundamentan, en la ubicación al explorar las medidas de la red y el almacenaje continuo de los detalles más importantes en la red.
- **Globule.-** utiliza algoritmos de encaminamiento considerando principalmente la proximidad y su redirección está basada en HTTP.

### 3.5 Conclusiones

Tomando en cuenta el streaming de video adaptativo en el cual se centra el presente estudio, además de las prestaciones de ancho de banda en LTE. Es necesario tomar en cuenta un algoritmo de encaminamiento adaptativo al igual que lo hacen las grandes

CDNs. Es necesario tomar en cuenta para el estudio factores importantes como la carga del lado servidor, el ancho de banda disponible en el lado usuario y fundamentalmente la proximidad geográfica del *surrogate* que se encuentra sirviendo el video.

Las aportaciones de este capítulo para el desarrollo del presente estudio son varias, principalmente ayudan al desarrollo desde un punto de vista analítico, para poder caracterizar mejor como trabaja una estructura CDN y poder saber cuáles son los puntos de mejora más pertinentes. Además se refuerzan los conceptos para entender mejor el funcionamiento de las CDNs y la distribución de video, con el fin de realizar una propuesta adecuada al entorno de virtualización.

## 4 Descripción de un servicio de streaming de video adaptativo sobre una estructura CDN.

Para la descripción de una CDN con capacidad de streaming se ha partido del modelo de arquitectura diseñado en el anterior capítulo, se propone una implementación del servicio funcional, capacidad de los equipos, tipos de aplicaciones y el funcionamiento general de la estructura brindando el servicio.

En primer lugar se describirá brevemente la arquitectura de implementación para una CDN dedicada a streaming o servicios multimedia. Se presenta la descripción de aspectos importantes que contribuyan a mejorar el funcionamiento de una CDN.

En este capítulo se tiene el objetivo fundamental de especificar y describir una arquitectura de CDN para realizar streaming multimedia.

### 4.1 Arquitectura General de la CDN

En el capítulo cuatro analizamos la arquitectura general de la CDN, en este apartado se desarrolla con mayor detalle los aspectos comunes de una CDN dedicada a media streaming.

#### 4.1.1 Descripción de Equipos y sus programas

En este apartado se indican las características y especificaciones generales de los equipos necesarios para realizar la implementación de una CDN, para el correcto funcionamiento y gestión de la CDN se podría realizar el desarrollo de los sistemas y módulos propuesto en la arquitectura; pero por motivo de estudio nombraremos algunos sistemas y módulos comerciales, desarrollados por el fabricante “Broadpeak” para la gestión de CDNs, algunas características están definidas en la siguiente tabla:

Tabla 4. Especificaciones Equipos CDN

Dispositivo	Descripción	
CDN Manager	RAM: 16 GB	HD: 2 TB
	S. O.: Ubuntu Server 14.04	CPU: Intel Xeon 2,20 Ghz
<b>Programas instalados:</b> MySQL, Apache ,Servidor DNS, Redirector, Monitor, CDNControl, CDNManager		
Surrogate X	RAM: 8 GB	HD: 4 TB
	S. O.: Ubuntu Server 14.04	CPU: Intel Xeon 2,20 Ghz
<b>Programas instalados:</b> MySQL, Apache, Agente del Monitor, Servidor Streaming MPEG DASH, Archivos MPD		
Servidor Origen	RAM: 16 GB	HD: 4 TB
	S. O.: Ubuntu Server 14.04	CPU: Intel Xeon 2,20 Ghz
<b>Programas instalados:</b> MySQL, Apache, Agente SNMP, Servidor Streaming MPEG DASH, Archivos MPD		

- **Servidor DNS:** Es necesario para el buen funcionamiento de nuestra CDN la incorporación de un servicio de DNS, para realizar todas las peticiones DNS propuestas en el capítulo 4.
- **Redirector:** existen varios proveedores de software para CDNs, se podría desarrollar la aplicación que trabaje como Redirector basados en las características del mismo, existen programas comerciales como el CDN Selection del fabricante *BroakPeak*.
- **Monitor:** al igual que el redirector se podría realizar el desarrollo del sistema de monitoreo de la CDN, existen programas comerciales que realizan esta función como CDN Mediator del mismo fabricante.
- **CDNControl y CDN Manager:** del mismo modo se podría realizar el desarrollo de un sistema para el control y administración de nuestra CDN. Existen programas comerciales que realizan este tipo de tareas, se puede nombrar CDN Management del mismo fabricante.

#### 4.1.2 Descripción de una Base de Datos

Es muy importante para el correcto funcionamiento de una estructura CDN, toda la información referente a usuarios, contenidos, surrogates se tendrá que almacenar en diferentes bases de datos. En esta sección se define las principales bases de datos [44]:

- **Base de datos Usuario:** en esta base de datos se almacenaría toda la información referente a los usuarios que contratan servicios con el proveedor de la CDN.
- **Base de datos Contenidos:** mediante esta base de datos se obtendría toda la información de los contenidos multimedia ofrecidos por el servicio de streaming dentro de la CDN.
- **Base de datos Monitorización:** en esta base de datos se almacenaría toda la información referente al módulo o sistema de Monitoreo.
- **Base de datos de Redirección:** se albergaría toda la información necesaria para que el módulo de redirección trabaje de una manera óptima.

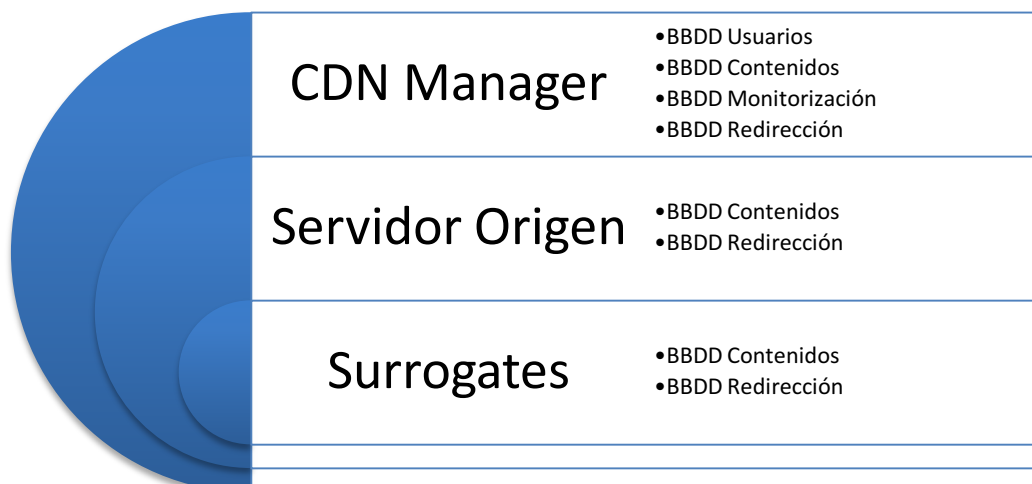


Figura 11. Relación de Bases de Datos

## 4.2 Acciones de Gestión

Desde un punto de vista de gestión y administración de la CDN, en esta sección se describirá una serie de acciones que deben realizar de manera periódica los módulos que son parte de la estructura CDN.

### 4.2.1 Inicialización y configuración de los módulos

Antes de poner en funcionamiento nuestra estructura CDN, se debe realizar una serie de tareas, tanto en el CDN Manager como en todos los *Surrogates* partes de la estructura:

- Definir todos los surrogates y servidores que forman parte de la CDN, esta es una tarea específica del CDN Manager.
- Introducción de todos los contenidos, existe varias herramientas que permiten hacer esta tarea de registrar contenidos multimedia; para posteriormente registrarlos en la base de datos.
- Iniciar la configuración de todos los servidores de streaming o surrogates, cada servidor tiene una configuración inicial específica para empezar a funcionar y servir contenidos de streaming. Utilizando MPEG DASH se realizará la configuración de los manifiestos, la disposición de los MPD.
- Distribución inicial de contenidos, de manera estratégica de acuerdo al desarrollo de una política de contenidos, se generará una serie de copias de los ficheros multimedia. Aunque en primera instancia se realiza la misma copia en todos los servidores o *surrogates*.

### 4.2.2 Obtener información sobre el estado de los servidores y la red

Esta es una tarea específica del módulo del monitor, ejecutará tareas de control en la bibliografía consultada este módulo trabajaba directamente con el protocolo SNMP, configurado en todos los servidores. Cada cierto intervalo de tiempo fijado por el administrador de la estructura CDN se realiza estas consultas para registrar en la base de datos los estados de los servidores, si estos se encuentra activos, inactivos o si no disponen del contenido.



Figura 12. Información y Control CDN

### 4.2.3 Gestionar el tiempo de almacenamiento de contenidos

En todos los surrogates se almacena ciertos tipos de contenidos multimedia, estas copias son directamente distribuidas por el servidor de origen. Administrado totalmente por el CDN Manager, define qué tipos de contenido multimedia y cada cuanto tiempo se realizaría una actualización de los contenidos o comprobar si existe contenido innecesario, por ultimo también se encargaría de todos los contenidos corrompidos que son parte de la base de datos estos podrán ser eliminados o reemplazados.

### 4.2.4 Desarrollo de una política de contenidos

Para el mejor funcionamiento y gestión de la CDN, es totalmente necesario realizar una política para la gestión y administración de contenidos. Estas políticas pueden incluir aspectos generales de la CDN como lo son:

- Tiempo en el que deben permanecer los videos.
- Registro y auditoria de acceso a los contenidos.
- Tipos de usuario y clientes.
- Facturación en el caso de que se realiza un cobro por el servicio.
- Tiempo de sesión de los usuarios.
- Frecuencia de mantenimiento y actualización de los módulos que forman parte de la estructura CDN.

### 4.2.5 Acciones de Administración

Es fundamental en la administración de la CDN, para supervisar el correcto funcionamiento, evaluando datos recogidos y modificando nuevas políticas de configuración. Algunas de las acciones más relevantes realizadas por la administración son:

- Introducción, modificación y eliminación de surrogates para realizar el streaming de video. Es necesario realizar estas acciones dependiendo de los datos que serían obtenidos por el CDN Manager.
- Introducción, modificación y eliminación de contenidos, es necesario centralizar esta tarea al CDN Manager, en muchos casos como se detalla en el capítulo 4 es necesario cambiar los formatos de video, remplazar videos por mayor calidad o generar otros tipos de especificaciones.
- Distribución del contenido de manera manual, en el peor de los escenarios podríamos tener un cliente el cual no puede tener acceso al servicio, para estos casos se podría crear la demanda de un contenido en concreto a través de un enlace directo hasta un surrogate especificado y funcional.



- También se puede realizar tareas de diseño de nuevas políticas de contenidos como parte de la administración del sistema.

## 4.2 Software Libre y CDN's

Actualmente existen varios proyectos en desarrollo, para la distribución de contenidos. Varios de estos proyectos están en GitHub para poder ser analizados y evaluados, existe algunos módulos de administración de CDN en desarrollo pero ninguno todavía del todo estable.

Es importante saber que podemos utilizar herramientas ya existentes para mejorar la redirección de usuarios en una estructura CDN, para esto existen aplicaciones como OpenDNS, PHP, etc. En el siguiente capítulo se tiene una estructura CDN basada completamente en Software Libre, para realizar las pruebas de redirección de usuario mediante disposición geográfica y los diferentes IP's por cliente.

## 4.3 Conclusiones parciales del diseño

Para describir el posible diseño de una CDN con soporte para streaming, se han empleado las mismas especificaciones técnicas que utilizaría una CDN comercial. Ampliando algunos aspectos generales, nombrando algunas características y especificaciones técnicas para su implementación.

Las descripciones de este capítulo tiene la intención de abordar las principales características de una CDN para realizar la futura implementación de una CDN con soporte para streaming de video adaptativo.

## 5 Diseño de un modelo de Streaming sobre CDN

Como ya se ha descrito en capítulos anteriores el objetivo principal de este estudio es el análisis de los principales parámetros de funcionamiento en una CDN, para realizar servicios de streaming sobre LTE. Tomando en cuenta aspectos fundamentales para realizar este diseño por sus requerimientos en tiempo real, características de un ancho de banda cambiante.

El objetivo de este capítulo es presentar un modelo para la implementación de un servicio de streaming de video adaptativo en una estructura CDN sobre LTE. El motivo principal de este capítulo es ser más realistas al momento de implementar un servicio de video, por lo que es necesario estudiar las implicaciones generales y diferencias para realizar streaming en una estructura CDN.

El modelo permitirá poder describir y estudiar los servicios de streaming ofrecidos por una estructura CDN basados en pruebas de investigación realizadas por alumnos del Máster en Ingeniería de Redes y Servicios Telemáticos de la Universidad Politécnica de Madrid.

Los principales parámetros que tomaremos en cuenta para realizar este modelo de streaming es la carga media de los servidores o surrogates en una estructura CDN, además del ancho de banda en el usuario final, también están parámetros secundarios pero no menos importantes, como el número de clientes, el número de servidores o surrogates de la estructura CDN. Estos parámetros serán utilizados para proponer un posible escenario de virtualización lo más real posible, además de proponer un modelo basado principalmente en una estructura de CDNs.

### 5.1 Modelo Básico

A continuación se describe el funcionamiento básico de una CDN con capacidad para streaming de video adaptativo, adecuado al entorno de red móvil LTE, tomando en cuenta las siguientes características:

- Un cliente accede a los recursos multimedia ubicados en los *surrogates* o servidores de streaming con un determinado padrón de tráfico, que se puede particularizar para cada cliente. Los parámetros que definen esto son: tamaño del video que solicita el cliente, instante de inicio de sesión, velocidad y carga en la conexión.
- Cuando un cliente cualquiera desea obtener un recurso multimedia, el primer paso consiste en acceder a su servidor principal o página web donde solicitará el servicio. Existe un Redirector que se encarga de llevar a cabo el proceso de redirección del cliente a través del servicio DNS. Esta decisión, en el caso de una CDN streaming, es más compleja depende del modo de funcionamiento de la CDN. Proponemos un modo estático donde el

redirector sólo considera aquellos *surrogates* que dispongan del contenido multimedia que fue solicitado por el cliente.

- El cliente accede al *surrogate* indicado para obtener el recurso multimedia. Una vez el cliente recibe del Redirector la dirección del surrogate con el que debe contactar, establece con éste una conexión TCP, y por encima de esta, una conexión con la capa de aplicación. El cliente en esta etapa tiene el control de envío de comandos como son el *play, pause, stop, etc.*
- El cliente interactuara con el surrogate para detener la reproducción o incluso abandonarla. Cuando un cliente accede a un recurso multimedia en modalidad streaming es necesario pensar en el streaming de video adaptativo basado en el procolo DASH.
- También es necesario estudiar que debido al cambio de prestaciones en LTE, tiene que ser posible el cambio de *surrogate* de manera automática, para proponer mejor calidad del servicio al usuario final. En el modelo CDN se puede implementar eso como lo hacen las grandes empresas de reproducción de contenido de video como YouTube, NetFlix, etc.

## 5.2 Descripción del modelo de emulación

El modelo de emulación consiste en un escenario de red en el cual tenemos un conjunto de CDNs. En este apartado se describen distintos entornos de red posibles como escenarios, para poder realizar distintas emulaciones. Los principales parámetros son los que definen la topología de red en general, a partir de la cual podemos realizar distintas configuraciones de inserción a nivel de cliente y los servidores que forman una CDN.

A continuación se describe los parámetros más importantes a tomar en cuenta para realizar un escenario de emulación para streaming de video en una estructura CDN:

- **Servidores:** En esta sección es necesario definir de una manera estratégica el número de *surrogates* que formaran parte de la CDN, para realizar la distribución y transmisión de video.
- **Clientes:** Número de clientes que pueden recibir el servicio de streaming con una calidad aceptable.
- **Redirectores:** son los encargados de realizar la redirección y gestión de contenido dentro de una estructura CDN.
- **Sesiones:** es muy importante tener en cuenta el número de sesiones simultáneas que puede soportar nuestro servicio de streaming en nuestra CDN.
- **Modo:** se refiere principalmente a la elección del modo de funcionamiento de la CDN si será estático, lo cual significa que el surrogate siempre dispone en memoria el objeto solicitado, o si será dinámico en el cual es posible que

el surrogate no dispone del contenido solicitado y debe hacer la solicitud al servidor de origen.

- **Trafico:** Al momento de definir el escenario modelo de emulación es muy importante tomar en cuenta características de tráfico, como el instante de inicio de sesión, el número de peticiones por sesión, ancho de banda a nivel cliente, ancho de banda a nivel de *surrogates*.
- **Buffer:** Es el tiempo máximo de la cola en los surrogates o en el servidor de origen.

Los protocolos de red son diseñados para ser independientes de la topología de red subyacente. Sin embargo, mientras que la topología no debería tener ningún efecto sobre el nivel de corrección de los protocolos de red, sí tiene, en ocasiones, un gran impacto en el rendimiento de dichos protocolos de red. Por esta razón, a menudo se utilizan generadores de topología de red para crear topologías realistas para las simulaciones. Estos generadores de topologías no aspiran a producir réplicas exactas de la Internet actual; en cambio, simplemente intentan crear topologías de red que representen características fundamentales de las redes reales.

Si bien es posible generar topologías de diferentes puntos de vista, en el caso de las CDNs y especialmente pensando en un entorno de red móvil LTE, resulta más importante modelar la estructura a gran escala de manera jerárquica al igual que lo es Internet. Ya que estamos tratando con grandes redes, y el rendimiento de los protocolos en la vida real se ve más afectado por estructuras de gran escala.

### 5.2.1 Cliente

El cliente consiste básicamente en un navegador web, que se conecta a los portales disponibles por la CDN, para solicitar un servicio de video multimedia. Un portal no es nada más que el punto de partida, a una estructura interna para el streaming y reproducción de video. La primera vez que un cliente accede a la CDN, contactará mediante un mecanismo de DNS con el *Redirector* o Gestor de Contenidos, responsable de redirigir al cliente al surrogate más adecuado. En condiciones normales, el cliente será dirigido al *surrogate* más cercano o más próximo a su local de conexión.

Una vez el cliente contacta con el portal correspondiente, el primer paso consiste en la autenticación. Pudiendo ser desde una autenticación web básica hasta una llave publica/privada. Aunque sabemos que una autenticación web para un sistema de streaming es ampliamente soportada por la mayoría de los navegadores y servicios web. Luego de ser autenticado el usuario puede solicitar cualquier contenido ofrecido por la CDN, o el paquete de contenidos que tiene contratado en el caso de un proveedor comercial. También pueden existir perfiles de usuario con diferentes configuraciones relativas a los servicios disponibles y las velocidades.

### 5.2.2 Surrogate

La función principal de un *surrogate* es servir de un punto de acceso a la CDN para los clientes, además de suministrar contenidos solicitados por cada uno de los clientes. Estos contenidos serán típicamente videos para realizar streaming adaptativo basados fundamentalmente en DASH. Es importante tomar en cuenta que los contenidos streaming necesitan más espacio en disco y consumen más recursos, por lo que es aconsejable tener copias de los contenidos multimedia en todos los surrogates. Este apartado nos permite hacer un análisis sencillo inicial de la CDN, sin abordar en profundidad las políticas de distribución y *caching*.

De manera muy similar a una CDN real tomaremos en cuenta en primer lugar la redirección por DNS cuando el cliente contacta con el Redirector, y en segundo lugar la redirección por parte del surrogate si éste se encuentra muy cargado o no dispone del contenido solicitado.

La clave en la redirección consiste en que cada surrogate debe tener conocimiento acerca del estado de los demás surrogates en la CDN, lo cual requiere un mecanismo de intercambio de información entre ellos. Para abordar esta situación, se ha tomado un nodo centralizado, el Redirector, quien tiene conocimiento del estado de los servidores y es el encargado de tomar las decisiones. De esta forma, si un surrogate se encuentra excesivamente cargado y estima que no puede ofrecer un servicio adecuado, lanza una nueva consulta al Redirector para obtener un nuevo surrogate al que redirigir al cliente.

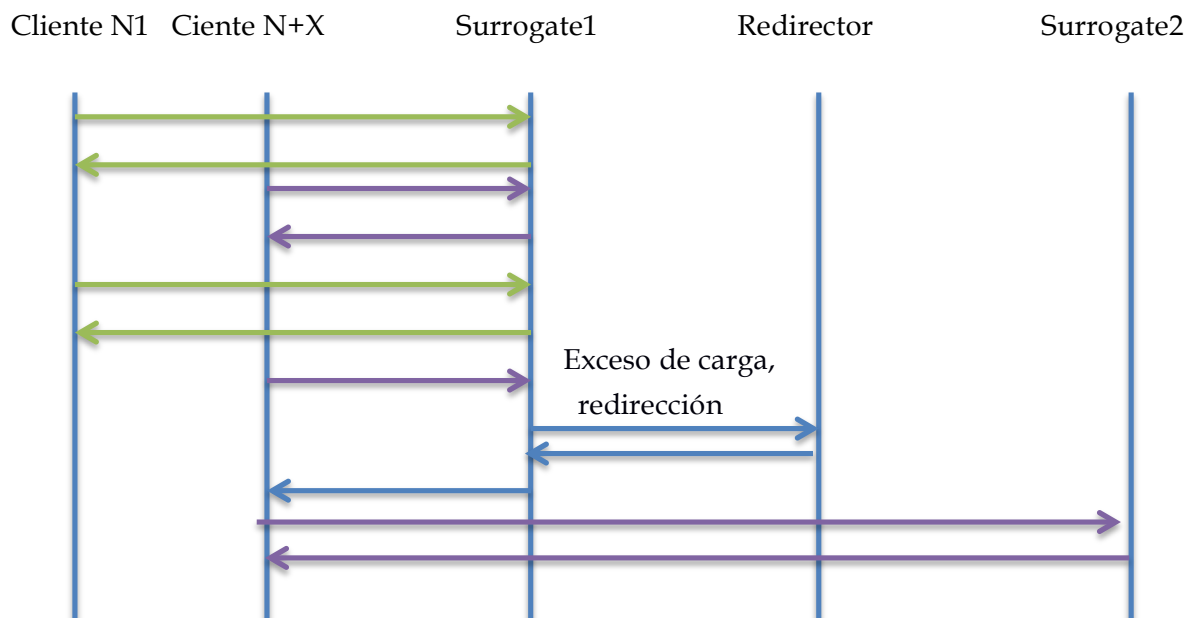


Figura 13. Redirección de Surrogates

### 5.2.3 Redirector

El redirector representa la inteligencia principal de toda la CDN propuesta, y es el encargado de determinar el surrogate que más se adecua a las necesidades de los clientes. Este proceso se realiza a través de un algoritmo de redirección, quien requiere información actualizada del estado de cada surrogate y de los enlaces de red. Esto se consigue a través de un proceso continuo de monitorización de la red.

En la mayor parte de los casos se considera al *surrogate* mas cercado el *surrogate* mas óptimo para realizar el *streaming* de video. Aunque también hay que tener otros factores además de la distancia, como los recursos disponibles en el servidores, la congestión de la red móvil LTE en lado cliente, la congestión en el lado de los surrogates. Todos estos factores se evalúan mediante un algoritmo, son importantes y deben ser monitoreados de forma constante para mejorar las prestaciones a la hora de realizar la entrega del servicio.

El redirector recibe las peticiones del servidor DNS y de los portales. Cuando un usuario se conecta a la CDN, el servidor DNS de la CDN recibirá una petición desde el navegador. El servidor DNS, enviando la petición al Redirector, solicitando la lista de surrogates disponibles. Una vez el cliente accede al surrogate para el streaming de video se realiza la conexión del servicio con un nivel aceptable, si existen cambios en la red, problemas de carga, disponibilidad de contenidos, el surrogate hará la petición al redirector para establecer un nuevo surrogate de servicio.

### 5.2.4 Servidor DNS

La redirección por parte del DNS es muy importante, porque a través de él se decide el surrogate optimo a contactar por un cliente en un momento determinado. El cliente contacta en primer lugar con su servidor DNS local, quien contacta con un servidor raíz y, en última instancia, con el servidor DNS del proveedor de servicios de CDN. Cuando un cliente acceda a la CDN, el servidor CDNDNS debe proporcionarle la dirección IP de un portal en el que iniciar la sesión web.

### 5.2.5 Monitor

El monitor tiene una función importante, obteniendo la información sobre los estados de los surrogates y de los enlaces de red. Para ello, hace uso del protocolo SNMP (Simple Network Management Protocol) para interrogar a todos los componentes de la red, realizando un monitoreo continuo:

- Verifica los recursos disponibles en el surrogate, como la carga del CPU, memoria RAM disponible, número de conexiones establecidas, espacio de almacenamiento disponible en disco.

- También verifica el estado de la Red y los enlaces de red, algunos aspectos como el ancho de banda, el retardo y la distancia topológica expresada en número de saltos.

Toda esta información es almacenada en una base de datos, que es procesada por el Redirector para determinar, en cada momento, el *surrogate* más adecuado para cada cliente.

### 5.2.6 Gestionado de la CDN

Desde el punto de vista de gestión de la estructura CDN, el módulo de gestionado de la CDN (CDN Manager), se encarga de trabajos más sencillos, pero muy importantes. Administrando los servidores de origen, surrogates y los usuarios de la CDN.

- **Gestión en la CDN:** se encargan fundamentalmente de la creación, registro y eliminación de las CDNs, además de configuraciones para su correcto funcionamiento y la monitorización de la CDN conjuntamente la evolución del rendimiento.
- **Operación de Servidores:** creación, registro y eliminación de los servidores origen y surrogates, monitorización de surrogates y su constante evolución.
- **Operación de Contenidos:** se encarga de la creación, registro y eliminación de contenidos, además de la adaptación de los formatos, adaptación dependiendo el ancho de banda y adaptación de calidad para streaming adaptativo. También propone las políticas de gestión y distribución, mediante la clasificación de varios grupos dependiendo contratos y demandas de usuarios.
- **Operación de Usuarios:** creación, registro y eliminación de usuarios. Comenzando de la autenticación para acceder a los contenidos de la CDN, la autorización para saber que usuarios pueden acceder a que contenido en particular y por último la facturación para contabilizar los accesos al contenido multimedia.

### 5.2.7 Servidor Origen

El servidor de origen prácticamente es el encargado de almacenar el contenido original ofrecido por la CDN. Si se desea introducir un nuevo contenido en la CDN, se ubica siempre en este servidor. Las políticas de distribución y gestión serán las encargadas de realizar sucesivas copias de dicho contenido entre todos los surrogates de la CDN, dependiendo fundamentalmente de la demanda esperada y generada. El servidor origen sólo ofrecerá servicio directo a un cliente si ninguno de los otros surrogates puede ofrecer el contenido al cliente.

## 5.3 Modelo de Arquitectura para la implementación en VNX

### 5.3.1 Introducción

En esta sección se realiza la propuesta de un escenario de red para ser implementado en VNX. Basado en una estructura CDN completa como fue especificado en los apartados anteriores.

En primera instancia es necesario nombrar algunos aspectos de la virtualización y la plataforma VNX, ya que es la base del escenario propuesto. La virtualización consiste en la creación de instancias virtuales de algún tipo de recurso (sistema operativo, almacenamiento, hardware) dentro de una infraestructura física común de red. La virtualización permite la coexistencia de múltiples instancias virtuales sobre el mismo soporte físico y que son independientes entre sí.

Como parte de los proyectos de investigación realizados por la Universidad Politécnica de Madrid, se desarrolló la herramienta de código abierto VNX que permite la creación de escenarios de prueba virtuales. Su principal objetivo es brindar a los estudiantes un entorno donde puedan interactuar de forma más real con escenarios de red, de forma similar a los programas GNS31, NetKit2, entre otros.

Las mejoras que introduce VNX en comparación con su herramienta antecesora VNUML son:

- Integración de nuevas plataformas de virtualización que permiten otros sistemas operativos como Windows, FreeBSD; para ello se introduce el uso de libvirt. Libvirt es el API estándar de virtualización de Linux, el cual permite acceder a las capacidades de virtualización.
- Gestión individual de máquinas virtuales.
- Autoconfiguración y capacidades para ejecución de comandos a través de la creación de imágenes de máquinas virtuales, similares a los archivos de virtualización OVF (Open Virtualization Format). Además se incluye un demonio de autoconfiguración y ejecución de comandos (ACED) que se ejecuta dentro de las propias máquinas virtuales. El demonio ACED realiza la lectura del fichero XML y configura las máquinas con esos parámetros.
- Versión para sistemas distribuidos (Mejoras conseguidas con EDIV).

VNX es una herramienta de código abierto, que funciona sobre un sistema operativo Linux y que presenta una arquitectura modular controlada, la propuesta del presente estudio puede ser implementada en VNX ya que está pensada para tener plena compatibilidad con las características ofrecidas por VNX.



#### 4.4.2. Arquitectura de Red

La arquitectura propuesta para ser más similar al modelo de internet se compone de tres grandes redes. Nos basaremos en una arquitectura ficticia, pero al mismo tiempo es parte de los entornos reales de red. La Red1 como la más grande y capaz de soportar un mayor número de usuarios, las otras dos redes con una capacidad equilibrada disponiendo de un menor número de usuarios.

En este estudio se propone el diseño para la implementación de una estructura CDN en VNX, implementando un surrogate en cada red, tendiendo un total de 3 surrogates principales por cada red. Dado que la Red1 es la más grande y tiene mayor capacidad es conveniente desplegar en esta Red el servidor origen, ya que reduciría la latencia en una gran parte de los clientes de servicio de streaming de video. Como vimos es necesario desplegar módulos como lo son el *Redirector* y el *CDN Manager*, para mejorar las prestaciones en nuestra estructura CDN, también serán desplegadas en nuestra Red1, ya que reduciríamos el retardo de una mejor manera porque en teoría nuestra Red1 genera mayor tráfico que las otras redes.

Para fines de prueba cada una de las redes contará con un cliente de prueba, en el mejor de los escenarios de prueba deberíamos tener en esta sección un grupo de clientes a nivel de dispositivos móviles LTE, para acercarnos mejor a los problemas de la vida real. Para este estudio se propone un cliente por cada surrogate, solamente por motivos de configuración y prueba.

##### 4.4.2.1. Ancho de Banda variable LTE.-

Para fines de emulación de una red móvil LTE es necesario generar un escenario con un ancho de banda variable, para esto usaremos una herramienta que simule las variaciones en LTE, por cada enlace *surrogate-usuario*, para esto se utilizara una herramienta llamada "*shaper*". El *Shaper* conforma el tráfico TCP a través de un fichero de configuración, donde podemos indicar el tiempo en el que debe variar el ancho de banda, una segunda opción que indica el ancho de banda en Mbps para tráfico UDP, una tercera opción que indica el ancho de banda para el tráfico TCTP, y las últimas configuraciones donde podemos indicar el retardo. Además nos permite representar el porcentaje de paquetes perdidos.

También se podría hacer uso de la herramienta *Dummynet* es una utilidad o módulo basado en Linux, desarrollada por Luigi Rizzo para poner a prueba los protocolos de red. Conceptualmente trabaja permitiendo al administrador crear tuberías virtuales en la red. Estas tuberías tienen diversos atributos como el ancho de banda, profundidad de la cola, y retrasos. El usuario usa una configuración tipo cortafuego para definir qué paquetes entrarán en la tubería. Cuando se usa una

Dumynet puede hacer que la máquina FreeBSD actúe como un conmutador o un router.

#### 4.4.3. Topología de Red en VNX

Para realizar un despliegue, se pasó por una primera fase de pruebas, se pretende probar las funciones básicas del sistema, además del diseño y funcionamiento de la estructura CDN. Por esta razón, se ha realizado pruebas y diseñado una maqueta que permita probar un entorno CDN, para posteriormente realizar las pruebas de streaming y servicio de contenidos multimedia.

Como podemos ver en la figura 12 el diseño simplificado equivalente al implementado en VNX, consta de tres redes, donde cada equipo y servidor se encuentra conectado. El esquema muestra el servidor origen, los *surrogates*, clientes y el módulo CDN Manager conjuntamente el *Redirector* se ha unido en un mismo equipo físico para facilitar la simplicidad. Esto es totalmente posible y no afectará al redimiendo propuesto para la estructura CDN, servirá para realizar futuras prueba y no sobrecargará nuestra estructura CDN.

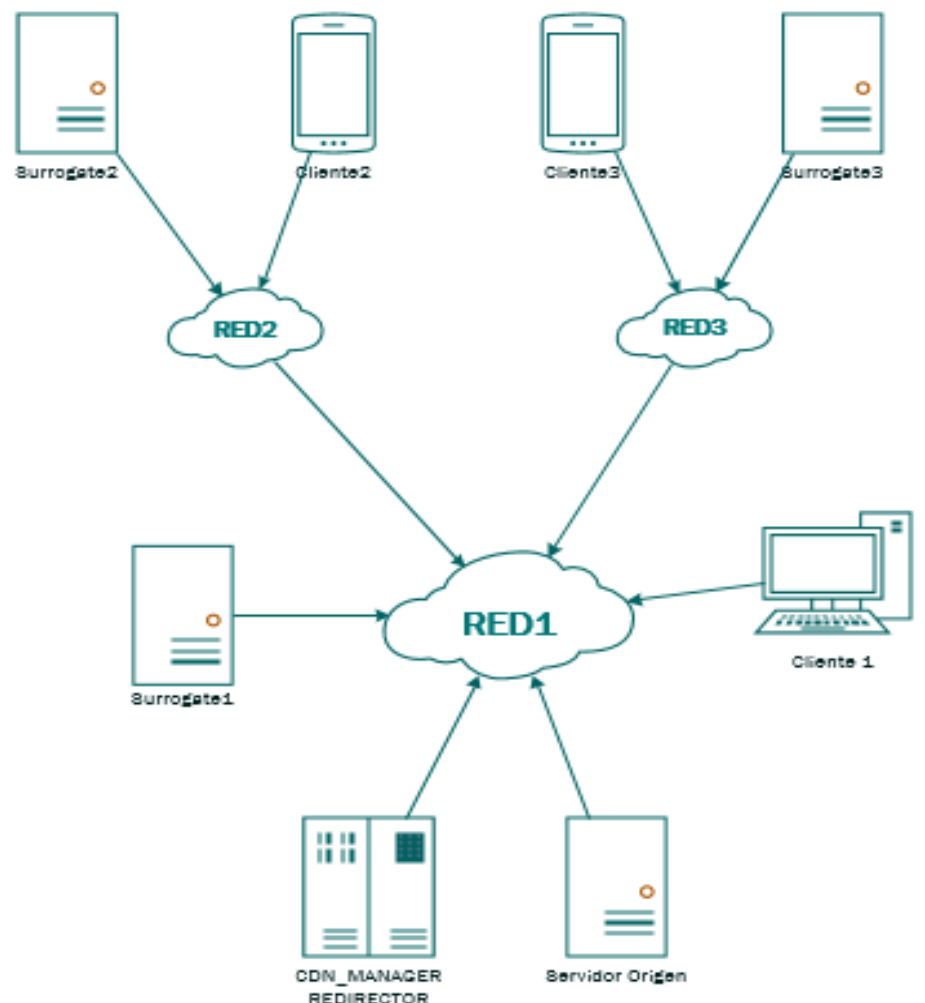


Figura 14. Maqueta de Prueba Simplificada

Esta maqueta simplificada fue implementada en VNX, se definieron cuatro redes para realizar una interconexión entre todos los elementos de la red, que fueron propuestos a lo largo del presente capítulo. El fichero de configuración del escenario VNX consiste en un fichero de etiquetas XML, donde se describen todos los elementos que son parte de la red. Los elementos tienen distintas propiedades, como la red a la que pertenece cada elemento y su configuración IP correspondiente, el sistema operativo que ejecutan y la ejecución de programas al momento de realizar la emulación de la maqueta. El fichero de configuración del escenario se encuentra en el Anexo 1, la Figura 13 muestra la forma gráfica de la implementación del escenario de red.

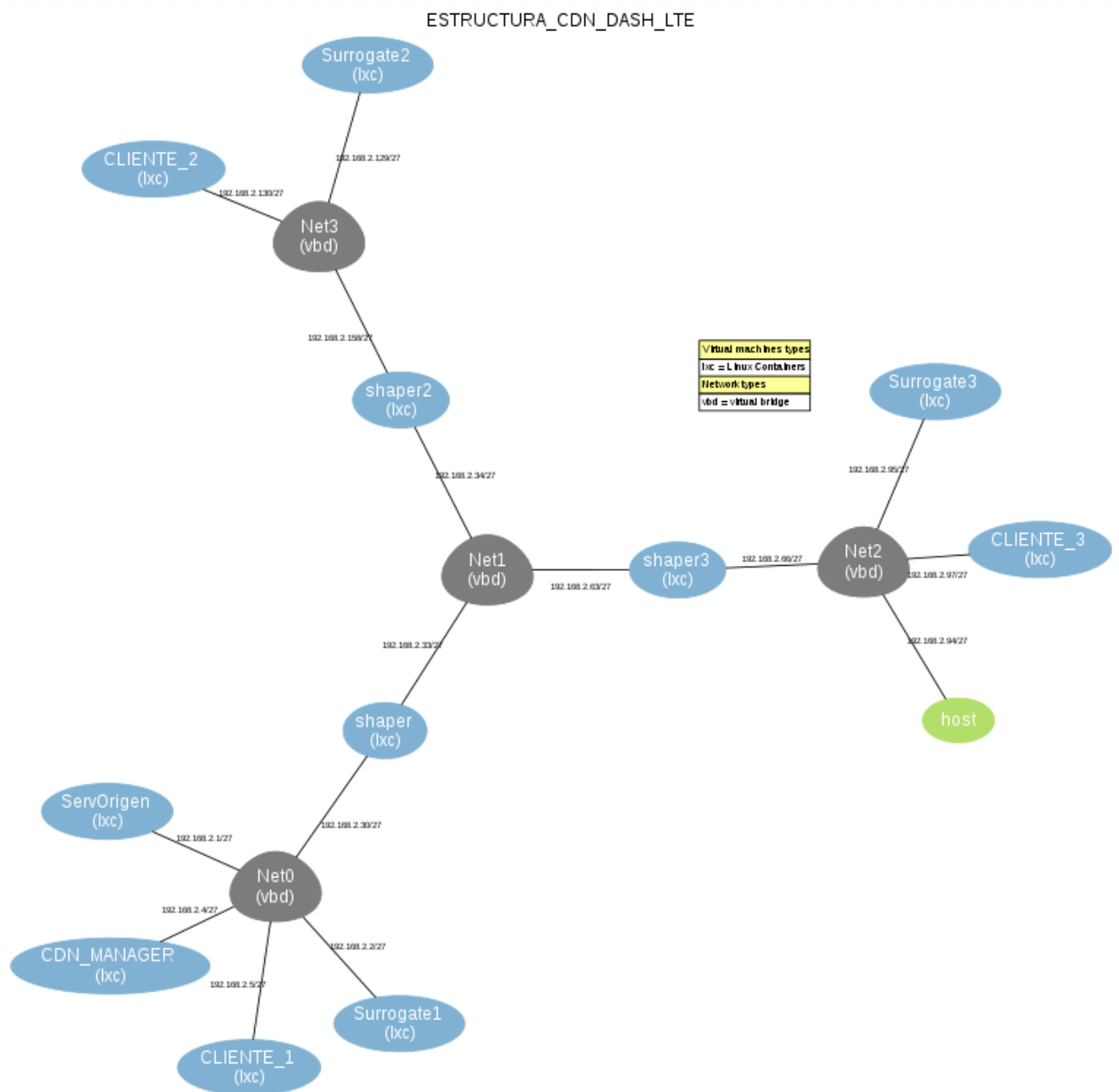


Figura 15. Implementación del escenario de red.

#### 4.4.4. Características Generales

Los componentes que definen la arquitectura en la maqueta VNX, son básicos para una estructura de CDN de streaming. Este apartado entrará en mayor detalle en aspectos que son propios de una arquitectura CDN para streaming, para una mejor comprensión del funcionamiento [40].

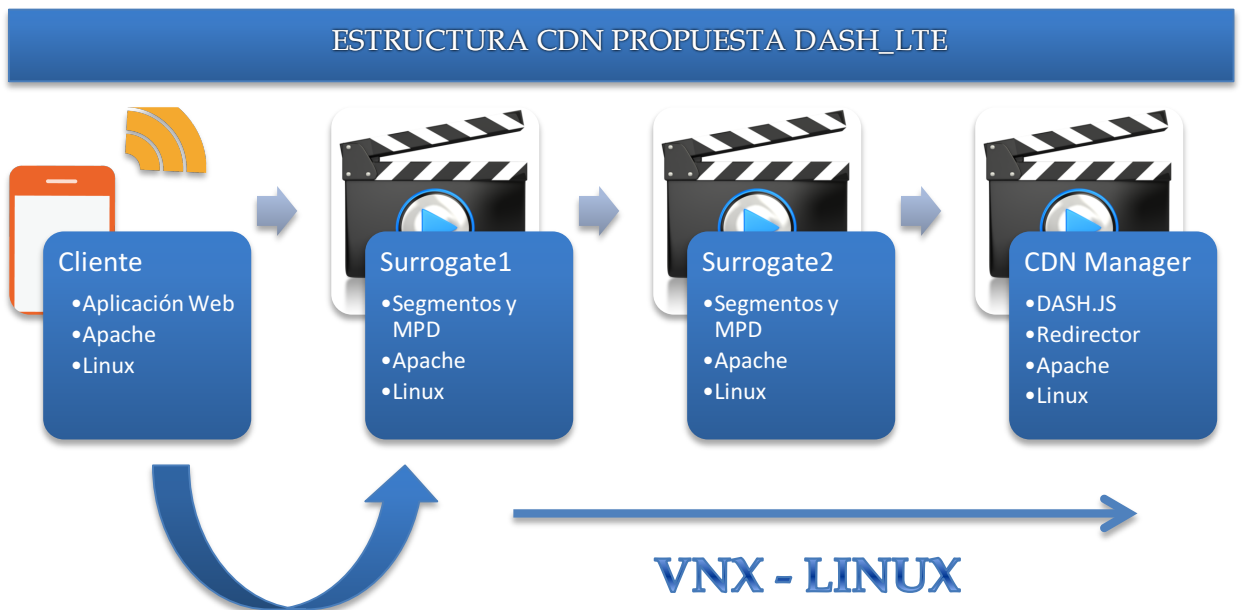


Figura 16. Esquema de la estructura CDN propuesta

Todos los surrogates presentes en la maqueta tienen un servidor web apache para poder brindar los contenidos de los segmentos DASH. Para realizar el streaming y generación de videos se han utilizado algunas herramientas por línea de comandos en Linux:

- X64: Para realizar la conversión de todos los videos, independientemente del formato a h264.
- MP4Box: Para realizar la conversión de todos los videos a varias calidades mp4, para que sean compatibles con el estándar DASH y se pueda realizar la generación de distintos segmentos.

##### 4.4.4.1. Modo de Funcionamiento de DASH.js

El funcionamiento de DASH.js, está basado en realizar solicitudes a los *surrogates* distantes dependiendo el redirector de la estructura CDN. Una vez se le asigna un surrogate, el cliente solicita un fichero MPD donde se le indica la ubicación de todos los segmentos de video disponibles, posteriormente la aplicación va solicitando los segmentos de video dependiendo las prestaciones de LTE para visualizar el video.

#### 4.4.4.2. Modificaciones en la aplicación dash.js por cliente

Por razones de estudio, se realizará las modificaciones en la aplicación web dash.js, para que cada cliente seleccione sus segmentos de video de la *surrogate* más cercana. En la propuesta real de la estructura CDN, el Redirector parte del CDN Manager, asignaría a cada cliente de manera automática según el algoritmo de redirección el surrogate mas optimo según las prestaciones de LTE, para esto el Redirector mandaría cual es el surrogate optimo dentro de la etiqueta BaseURL.

#### 4.4.4.3. Prestaciones de LTE

Para generar un escenario con un ancho de banda variable, para generar las prestaciones específicas de LTE se utilizará en el entorno de red un *Shaper*, este Shaper es capaz de controlar el tráfico TCP, haciendo uso de un fichero nombrado metrics.txt.

Para realizar las configuraciones del fichero metrics.txt, se basará en un análisis de prestaciones realizado a la red móvil LTE de Telefónica, este análisis fue realizado en diferentes zonas de Madrid-España, donde se ha analizado el tráfico de LTE. Realizadas en un Smartphone Huawei Ascend P7, con la ayuda de la aplicación SpeedTest de Ookla se realizaron más de 10 pruebas en diferentes ubicaciones de la ciudad de Madrid-España. Las pruebas dejan velocidades pico por encima de los 100 Mbps de descarga. La mayor velocidad conseguida en descarga fue de 114.38 Mbps, mientras que en subida alcanzamos los 28.25 Mbps. Un resultado superior a la mayoría de conexiones de fibra óptica domésticas actuales, con 100 Mbps de descarga y 10 de subida. El ping se situó en todo momento por debajo de los 40 ms, lo cual también mejora bastante los resultados de pruebas anteriores del LTE en fases primarias. Ahí no alcanza todavía a la fibra óptica, y con la tecnología actual difícilmente lo hará, pero de momento ha bajado la latencia.

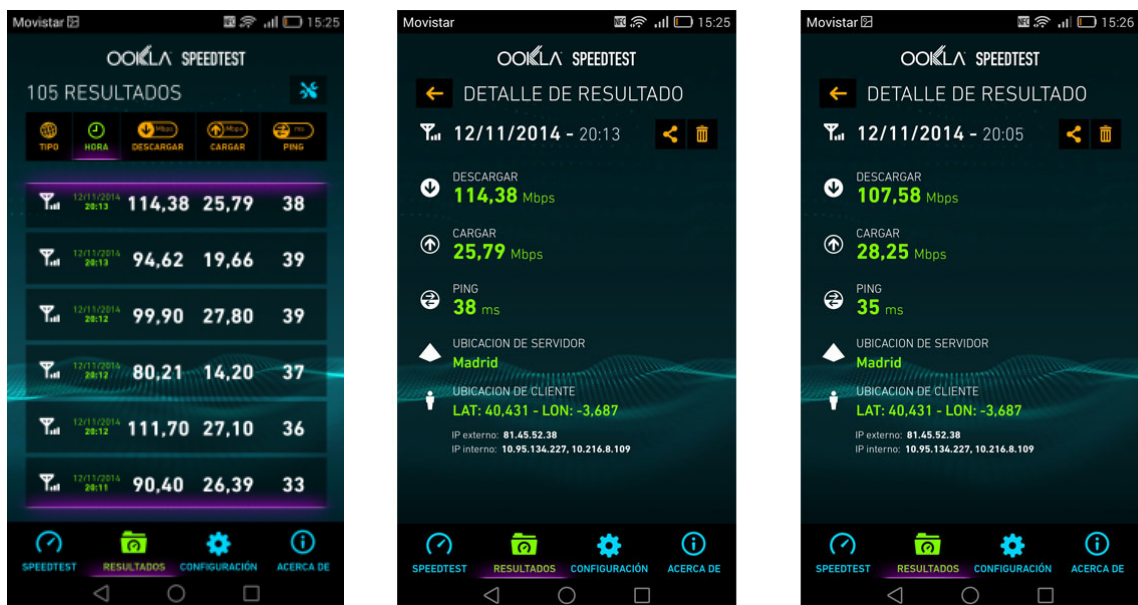


Figura 17. Velocidades de LTE

Basándonos en las prestaciones de LTE tomadas por Telefónica, se propone la siguiente configuración para el fichero de la siguiente manera:

### Métricas Shaper

Tabla 5. Métricas de Ancho de Banda LTE

<i>Tiempo</i>	<i>Trafico UDP</i>	<i>Trafico TCP</i>	<i>Retardo1</i>	<i>Retardo2</i>	<i>Paquetes Perdidos1</i>	<i>Paquetes Perdidos2</i>
3 seg	114 Mbps	2 Mbps	30 mseg	30 mseg	0	0
6 seg	95 Mbps	1 Mbps	45 mseg	45 mseg	0	0
9 seg	99 Mbps	2 Mbps	30 mseg	30 mseg	0	0
12 seg	80 Mbps	3 Mbps	45 mseg	45 mseg	0	0
15 seg	111 Mbps	3 Mbps	45 mseg	45 mseg	0	0
18 seg	90 Mbps	2 Mbps	45 mseg	45 mseg	0	0
21 seg	75 Mbps	1 Mbps	45 mseg	45 mseg	0	0

Las variaciones propuestas serán definidas en cada una de las redes, para cada surrogate y cliente serán configuradas las mismas variaciones en los enlaces de red.

## 4.5. Redirección de Usuarios Escenario VNX

En esta sección se detalla toda la información referente al sistema de redirección de usuarios utilizada en el escenario de Red propuesto en los apartados anteriores, por motivos de estudio fue implementado un método de redirección de usuarios basado en la ubicación geográfica del usuario. A continuación se realiza la descripción de cada dispositivo que forma parte de la estructura CDN, además de los detalles técnicos referentes a la redirección de usuarios para la distribución de video.

### 4.5.1 CDN Manager

Dentro de una estructura CDN uno de los dispositivos mas importantes es el administrador de la CDN, en el escenario propuesto será el encargado de realizar dos tareas importantes y fundamentales para el funcionamiento eficiente del servicio de video:

- **Servir el Reproductor DASH.-** Cuando un usuario realiza la solicitud para empezar a reproducir video en DASH, el primer contacto que tiene es directamente con el CDN Manager, a través del navegador, posteriormente

el CDN Manager sirve el reproductor dash.js completo al usuario. Esto significa que el usuario esta listo para solicitar un video segmentado al CDN.

- **Redirección de Usuarios.-** en el escenario el CDN Manager cumple también la función de realizar la redirección de los usuarios que solicitan el contenido. Para realizar la redirección de usuarios utiliza un método de redirección geográfica basado en IP.

**Proximidad Geográfica.-** El CDN Manager a través del segmento de IP con el que el usuario realiza la solicitud de contenido es capaz de definir, cual es el servidor o *surrogate* más cercano para realizar la transmisión de video. A través de un pequeño programa basado en php, el CDN Manager es capaz de determinar el servidor que esta más próximo al usuario mediante el IP de origen de cada cliente solicitante.

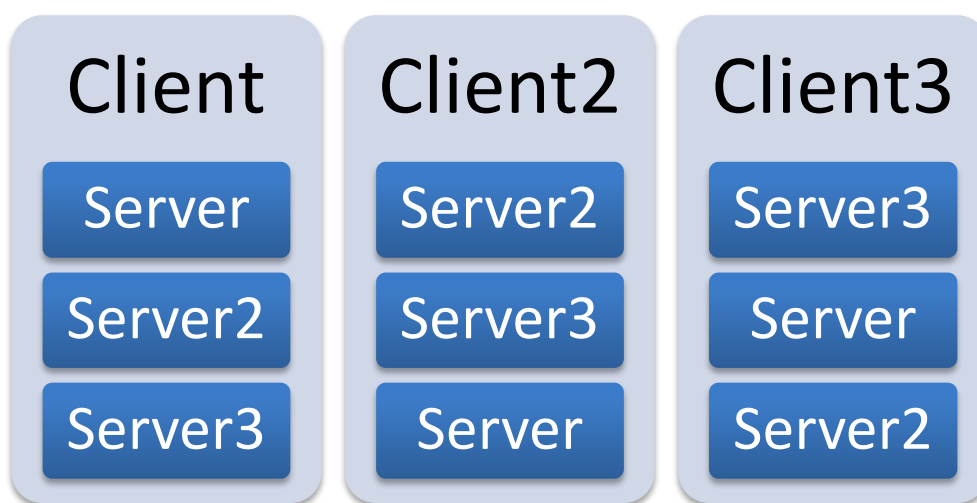


Figura 18. Organización y prioridad de servidores para cada cliente.

Una vez realizada la carga del video el usuario es capaz de solicitar el cambio del servidor mediante la interfaz web, mientras que el vídeo sigue reproduciéndose de manera continua. También se muestra correctamente el servidor actual y los posibles servidores que pueden ser seleccionados.

#### 4.5.2 Servidor Origen y Surrogates

En nuestra estructura CDN propuesta, se tiene un Servidor de origen el cual contiene los ficheros MPD para el streaming en MPEG-DASH, además de contener los videos en el formato compatible con MPEG-DASH. Cada surrogate es una replica exacta del Servidor Origen y el contenido está disponible para cualquier usuario en cualquier instante de tiempo. Teniendo los ficheros MPD de los videos disponibles, que son gestionados directamente por el CDNManager.

### 4.5.3 Cliente VNX

El cliente es totalmente independiente de las tecnologías en el lado servidor, solo haciendo el uso del navegador web es capaz de reproducir contenido adaptado, realizando todas las solicitudes directamente al CDNManager.

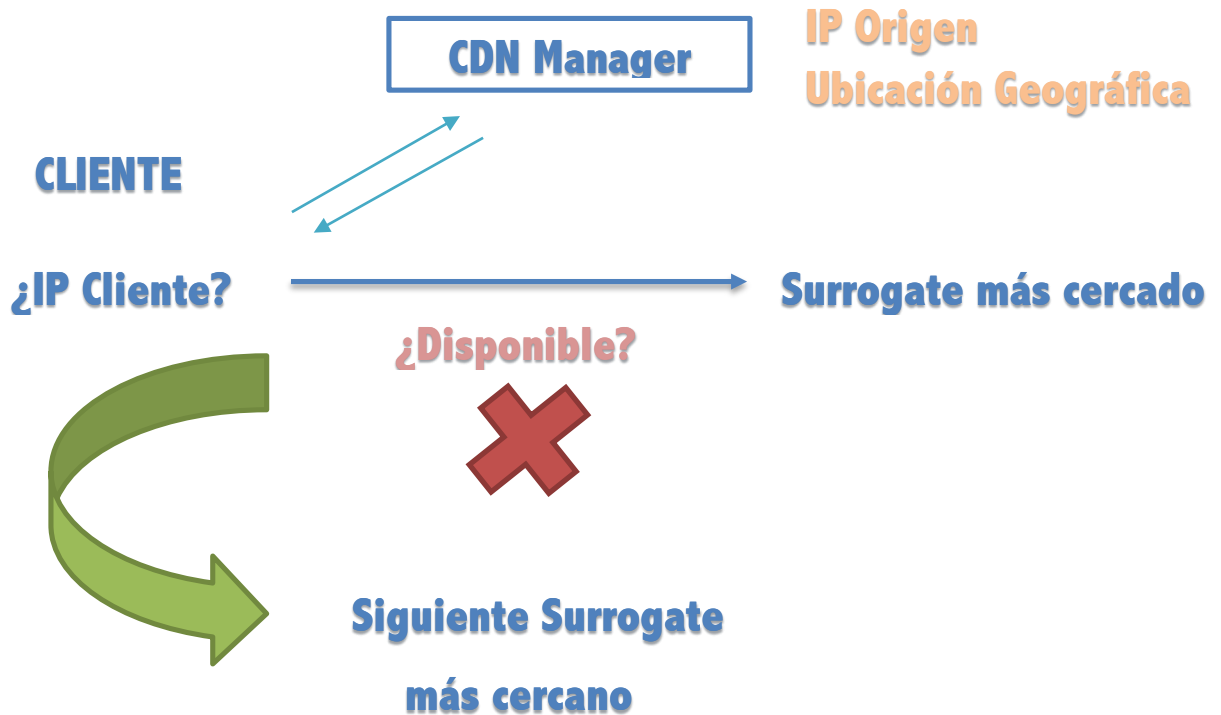


Figura 19. Redirección del escenario

## 4.6. Resumen

En este capítulo se realizó una propuesta para realizar la configuración e implementación de una maqueta basada en una estructura CDN, con la intención de mejorar las prestaciones en el streaming de video adaptativo en una red móvil LTE.

El análisis de la arquitectura y maqueta virtual, servirá para ampliar significativamente el modelo de estudio, para proponer una estructura CDN capaz de realizar streaming de video adaptativo sobre LTE.

En nuestra implementación se ha estudiado un posible escenario de RED y su estructura en la herramienta de virtualización VNX desarrollada por la Universidad Politécnica de Madrid. Se describe el funcionamiento de los principales componentes de la CDN, además de las variaciones abruptas en las prestaciones de LTE basado en un estudio realizado por la empresa telefónica para medir las prestaciones de ancho de banda de su red LTE, en la ciudad de Madrid.

Es importante centrarse en el modo de trabajo de la CDN y también sus limitaciones o posibles mejoras analizadas en el siguiente capítulo.



## 6 Líneas de Trabajo Futuras

Una estructura de CDN es una red compleja, donde intervienen muchos factores y múltiples tecnologías. Si bien es posible realizar las pruebas de redirección mediante la estructura CDN propuesta en la maqueta virtual de VNX, no será posible por el tiempo limitado que se tiene para el desarrollo de esta tecnología. Esta sección propone algunos aspectos futuros del presente estudio.

### 6.1 Líneas Futuras de investigación

En esta sección se contempla aspectos importantes a ser investigados y desarrollados, abordando un enfoque más realista y funcional.

#### 6.1.1 Maqueta VNX

En el escenario de red propuesto e implementado en VNX, es necesario pensar en varias mejoras. Una de las más importantes y que destaca sobre otras es la redirección de usuarios, el escenario actual trabaja a través de redirección geográfica por dirección IP, pero es necesario analizar otras medidas como el ancho de banda, la carga en el servidor, etc. El escenario futuro debe contener métodos de redirección mixta, donde a través de medidores de estado, se pueda controlar las prestaciones de calidad en el lado servidor, principalmente la carga de los servidores, de esta manera tendríamos implementado un método de redirección mixta dentro de nuestro escenario VNX.

#### 6.1.2 Modulo de Redirección y Software CDN

Actualmente la mayoría de las CDNs tienen en su propio módulo de redirección, basado en un algoritmo de redirección, las comerciales tienen este módulo como un secreto cerrado para el público y los investigadores. Las investigaciones en este campo son de gran ayuda, investigaciones que incluyan un nuevo algoritmo de redirección en el lado de servidor. Partiendo de un modelo analítico que pueda ser testado en una maqueta virtual como la propuesta en el presente estudio. Estudiar también acerca la replicación de las CDNs y su alta escalabilidad.

Un desarrollo muy importante para el campo de las CDNs, es el diseño y desarrollo del software para toda la estructura CDN, como nombramos en el capítulo cinco el desarrollo de los módulos de monitor, CDN Manager, Redirector, pueden ser desarrollados como un trabajo futuro y sería un gran aporte para estas tecnologías, este estudio no contempla el desarrollo de estos sistemas pero se nombró algunos ejemplos de módulos de uso comercial.

#### 6.1.3 Modelo de Emulación

Si bien el modelo de emulación desarrollado mediante una maqueta en VNX es funcional para streaming de video, es necesario implementar las características completas de una CDN para realizar pruebas de redirección, investigando sobre

nuevas tecnologías de emulación, sistemas híbridos P2P para brindar un mejor servicio multimedia.

#### **6.1.4 Prestaciones LTE**

Para el estudio se tomaron las prestaciones de ancho de banda de un estudio realizado por telefónica, es interesante realizar un estudio de prestaciones real; como ser el trayecto de un bus que ofrece un servicio de video streaming, o el recorrido de un usuario de un punto A hacia un punto B, realizar mediciones reales de cómo varían las prestaciones de ancho de banda sobre una red móvil LTE.

#### **6.1.5 Implementación de una CDN**

Una CDN es un sistema que puede ser constantemente ampliado, como se detalló en el capítulo dos es posible realizar investigaciones acerca la interconexión de CDNs, para mejorar y ofrecer servicios de mayor capacidad. Aprovechando que una estructura CDN es altamente escalable, investigar sobre nuevas tecnologías híbridas con P2P. Además existe una gran demanda de juegos multijugador sobre internet, la investigación para el diseño e implementación de una CDN en este campo resulta de gran interés y beneficio.

## 7 Conclusiones

El presente estudio, fue un reto para comprender mejor las nuevas tecnologías, el estudio a profundidad de las estructuras CDN; su modo de funcionamiento fue de gran ayuda para mejorar los conocimientos relevantes al área de estudio.

Es importante estudiar sobre el futuro de las tecnologías estudiadas, hoy en día se genera un nuevo concepto para el futuro de internet y es claro que las redes de distribución de contenido jugaran un papel muy importante. En la actualidad los grandes proveedores de streaming tienen sus estructuras CDN basadas en lo estudiado en el presente proyecto y es necesario la continua innovación e investigación de estas tecnologías. Las principales diferencias entre el actual y el futuro Internet se pueden resumir, básicamente, en dos aspectos:

- ***Elevado y verdadero ancho de banda.*** Las redes serán capaces de proporcionar velocidades de Gbps, lo que permitirá introducir nuevos servicios como video 4K en redes cableadas e inalámbricas.
- ***Control compartido.*** Si bien la primera generación de Internet permitía compartir información (e-mail, web, streaming, etc.) la segunda generación debe permitir compartir el control para gestionar el aprovisionamiento de servicios por mecanismos de usabilidad universales y de una forma ubicua.

La visión a medio y largo plazo consiste en que las redes de distribución serán capaces de encaminar diferentes tipos de contenido a través de varias rutas y emplear mecanismos de reserva de recursos sin necesidad de señalización por parte del usuario o el nivel de aplicación y segura. Las estructuras de distribución de contenidos aplicadas al streaming de video son más robustas cada día y la inteligencia de redirección y encaminamiento de usuarios está pasando en su totalidad a la parte del servidor, ósea al gestor de la estructura CDN.

Es relevante estudiar más a fondo los algoritmos de redirección de usuarios, para mejorar la inteligencia del Redirector de la CDN y el CDN Manager. Perfeccionando estos algoritmos de redirección tendríamos mejores prestaciones al momento de realizar streaming de video sobre una red móvil LTE.

Se puede apreciar que la distribución de vídeos en Internet es un problema complejo que abarca la infraestructura de red (acceso), los proveedores de contenidos (empresas como Netflix y Youtube), las redes de distribución de contenido (como LimeLight y Akamai) y las condiciones de congestión de red que plantean problemas a la hora de brindar los ficheros multimedia a los usuarios. La propuesta de una estructura CDN del presente estudio es importante para profundizar investigaciones en los módulos principales de una CDN y así poder mejorar la calidad de servicio multimedia.

## 7 Bibliografía

[1] ISO/IEC 23009-1, "Information technology Dynamic adaptive streaming over HTTP (DASH) - Part 1: Media presentation description and segment formats", April 2012.

[2] 3GPP, TS 123 246 V8.4.0; Universal Mobile Telecommunications System (UMTS); LTE; Multimedia Broadcast/Multicast Service (MBMS); Architecture and functional description. (3GPP TS 23.246 version 8.4.0 Release 8), June 2009

[3] IETF RFC 6726, "FLUTE - File Delivery over Unidirectional Transport", November 2012.

[4] Multimedia Broadcast/Multicast Service (MBMS); Protocols and codecs, 3GPP TS 26.346 v11.6.0, Sep 2013.

[5] Park Y.; Lee Y. et al (2008). Hybrid Segment-Based Transcoding Proxy Caching of Multimedia Streams. IEEE 8th International Conference on Computer and Information Technology Workshops, 2008. CIT Workshops 2008., vol., no., pp.319-324, doi: 10.1109/CIT.2008.Workshops.67

[6] Brussee, H. Eertink, et al. (2001). Content Distribution Network. State of the art, Telematica Instituut (Netherlands).

[7] Verma D.C. (2001). Content Distribution Networks. An engineering approach. Wiley-Interscience Publication, ISBN 0-471-44341-7.

[8] Pathan, A. M. K., Buyya, R. (2007). A Taxonomy and Survey of CDNs, Technical Report, GRIDS-TR-2007-4, University of Melbourne, Australia.

[9] Jan Coppens, Tim Wauters, Filip De Turck, Bart Dhoedt and Piet Demeester, "Design and Performance of a Self-Organizing Adaptive Content Distribution Network", 2006.

[10] Amon, Peter ; Rathgen, Thomas ; Singer, David: File Format for Scalable Video Coding. In: Circuits and Systems for Video Technology, IEEE Transactions on 17 (2007), num. 9, pp. 1174-1185. - ISSN 1051-8215.

[11] Arsan, Taner: An Integrated Software Architecture for Bandwidth Adaptive Video Streaming. In: Proceedings of World Academy of Science, Engineering and Technology 27 (2008), February

[12] Lungaro, P., Segall, Z., Zander, J. (2010). *Predictive and Context-Aware Multimedia Content Delivery for Future Cellular Networks*. IEEE Vehicular Technology Conference (VTC 2010-Spring), 2010, DOI: 10.1109/VETECS.2010.5493664.

[13] Menai, M.F., Fieau, F., et al. (2009). *Demonstration of Standard IPTV Content Delivery Network Architecture Interfaces: Prototype of Standardized IPTV Unicast Content Delivery Server Selection Mechanisms*. IEEE Consumer Communications and Networking Conference, 2009. CCNC DOI: 10.1109/CCNC.2009.4785012.

[14] Meng Zhang; Qian Zhang; Lifeng Sun; Shiqiang Yang, "Understanding the Power of Pull-Based Streaming Protocol: Can We Do Better?," *Selected Areas in Communications*, IEEE Journal on , vol.25, no.9, pp.1678,1694, December 2007.

[15] Ding, J.-R.; Yang, J.-F., "Adaptive group-of-pictures and scene change detection methods based on existing H.264 advanced video coding information," *Image Processing, IET* , vol.2, no.2, pp.85,94, April 2008

[16] MPEG [en línea] <http://mpeg.chiariglione.org/>

[17] Begen, A.C.; Akgul, T.; Baugher, M., "Watching Video over the Web: Part 1: Streaming Protocols," *Internet Computing*, IEEE , vol.15, no.2, pp.54,63, March-April 2011.

[18] International Telecommunication Union. (<http://www.itu.int/home/index.html>).

[19] Nielsen//NetRatings. Global Internet Trends. (<http://www.nielsen-netratings.com/>)

[20] YouTube, «YouTube.com,» 2012. [En línea]. Available: <https://www.youtube.com/yt/press/es/statistics.html>.

[21] Cisco, «Cisco visual networking index: Global mobile data traffic forecast update 2012-2017,» February 2013.

[22] Arbor Networks, <http://www.arbornetworks.com/>.

[23] Day M., Cain B. et al (2003), A Model for Content Internetworking (CDI), RFC 3466.

[24] Mockapetris, P. (1987). Domain names- concepts and facilities, RFC 1034 y Mockapetris, P. (1987) Domain names - implementation and specification, RFC 1035.

[25] Liu H., Chen M. (2010); Evaluation of web caching consistency, 3rd Int. Conference on Advanced Computer Theory and Engineering (ICACTE), 2010 , vol.5, doi: 10.1109/ICACTE.2010.5579113.

[26] Arlitt M., Jin, T (2000). *A workload characterization study of 1998 world cup Web site*. IEEE Network.

- [27] Kangasharju J., Roberts J., et al (2002). *Object replication strategies in content distribution networks*. Computer Communications, 25(4), 2002.
- [28] Peng, G (2003). *CDN: Content distribution network*. Technical Report TR-125, Experimental Computer Systems Lab, Department of Computer Science, State University of New York, StonyBrook, NY.
- [29] Rizzo L., Vicisano L. (1998). *Replacement Policies for a Proxy Cache*. Technical report m/98/13, University College London, Department of Computer Science, Cower Street, London WC1E 6BT, UK, 1998.
- [30] Fortino G., Mastroianni M. et al (2009). *A hierarchical control protocol for group-oriented playbacks supported by content distribution networks*. Journal of Network and Computer Applications, Volume 32 Issue 1.
- [31] Wessels D., Claffy K. (1997). Internet Cache Protocol (ICP), version 2. RFC 2186.
- [32] Gadde S., Rabinovich M., et al (1997). Reduce, reuse, recycle: an approach to building large Internet caches. In Proc. of 6th Workshop on Hot Topics in Operating Systems.
- [33] Krishnamurthy B., Wills C.E. (1998). Piggyback server invalidation for proxy cache coherency. Computer Networks and ISDN Systems, v.30 n.I-7.
- [34] Gayek P., Nesbitt R. et al (2004). A Web content serving utility. IBM Systems Journal, 43.
- [35] Chen C., Ling Y. et al (2005). *Scalable request routing with next-neighbor load sharing in multi-server environments*. 19th International Conference on Advanced Information Networking and Applications, vol.1, no.,doi: 10.1109/AINA.2005.303.
- [36] Sivasubramanian S., Szymaniak, M. et al (2004). *Replication of Web hosting*. ACM Computing Surveys systems, 36(3), ACM Press, NY, USA.
- [37] Szymaniak M., Pierre, G. et al (2003). *Netairt: a DNS-based redirection system for apache*. Proc. of International Conference WWW/Internet, Algrave, Portugal
- [38] Krishnamurthy B., Willis, C. et al (2001). *On the use and performance of content distribution networks*. Proc. of 1st International Internet Measurement Workshop, ACM Press, pp. 169-182.
- [39] Peng, G (2003). *CDN: Content distribution network*. Technical Report TR-125, Experimental Computer Systems Lab, Department of Computer Science, State University of New York, StonyBrook, NY.

[40] Benjamin Molina Moreno, Red de distribución de contenido y su algoritmo de redirección de usuarios para servicios web y streaming, Universidad Politécnica de Valencia, 2013.

[41] Begen, A.C.; Akgul, T.; Baugher, M., "Watching Video over the Web: Part 1: Streaming Protocols," *Internet Computing, IEEE* , vol.15, no.2, pp.54,63, March-April 2011

[42] Begen, A.; Akgul, T.; Baugher, M., "Watching Video over the Web: Part 2: Applications, Standardization, and Open Issues," *Internet Computing, IEEE* , vol.15, no.3, pp.59,63, May-June 2011

[43] Cheng Huang, Angela Wang, Jin Li, Keith W. Ross, Measuring and evaluating large-scale CDNs, *Proceeding of the 8th ACM SIGCOMM conference on Internet measurement*, 2008.

[44] Adhikari, V.K.; Yang Guo; Fang Hao; Varvello, M.; Hilt, V.; Steiner, M.; Zhi-Li Zhang, "Unreeling netflix: Understanding and improving multi-CDN movie delivery," *INFOCOM, 2012 Proceedings IEEE* , vol., no., pp.1620,1628, 25-30 March 2012

[45] Torres, R.; Finamore, A.; Jin Ryong Kim; Mellia, M.; Munafo, M.M.; Sanjay Rao, "Dissecting Video Server Selection Strategies in the YouTube CDN," *Distributed Computing Systems (ICDCS), 2011 31st International Conference on* , vol., no., pp.248,257, 20-24 June 2011

[46] Adhikari, V.K.; Yang Guo; Fang Hao; Hilt, V.; Zhi-Li Zhang, "A tale of three CDNs: An active measurement study of Hulu and its CDNs," *Computer Communications Workshops (INFOCOM WKSHPs), 2012 IEEE Conference on* , vol., no., pp.7,12, 25-30 March 2012

[47] Niven-Jenkins B., Faucheur F. L. et al (2011). Content Distribution Network Interconnection (CDNI) Problem Statement. Internet Draft. <http://tools.ietf.org/html/draft-ietf-cdni-problem-statement-01>.

[48] Oliveira C.A.S, Pardalos P.M (2005). A survey of combinatorial optimization problems in multicast routing. *Computers and Operations Research*, Volume 32 Issue 8, Elsevier Science Ltd. Oxford, UK, ISSN: 0305-0548, doi:10.1016/j.cor.2003.12.007

[49] O'Neil E.J., O'Neil P.E et al. (1993). The LRU-K Page Replacement Algorithm for Database Disk Buffering. In *Proceedings of ACM SIGMOD International Conference on Management of Data*.

[50] Apple HTTP live Streaming: <http://tools.ietf.org/id/draft-pantos-http-live-streaming-04.txt> [en línea]

[51] Schwarz, H.; Marpe, D.; Wiegand, T., "Overview of the Scalable Video Coding Extension of the H.264/AVC Standard," *Circuits and Systems for Video Technology, IEEE Transactions on*, vol.17, no.9, pp.1103,1120, Sept. 2007

[52] Jussi Kangasharju, James Roberts, Keith W. Ross, Object replication strategies in content distribution networks, *Computer Communications*, Volume 25, Issue 4, 1 March 2002, Pages 376-383, ISSN 0140-3664, [http://dx.doi.org/10.1016/S0140-3664\(01\)00409-1](http://dx.doi.org/10.1016/S0140-3664(01)00409-1).



## Anexos

Para un mejor análisis del proyecto y continuar con los trabajos futuros se realiza el desglose de la ubicación de los principales ficheros, además de los comandos mas importantes para continuar el trabajo.

### *Modificaciones DASH.js*

Comando para realizar las modificaciones referentes al protocolo MPEG-DASH, desde la ubicación de los ficheros importantes hasta modificaciones en el Player.

```
Sudo gedit /usr/share/vnx/filesystems/vnx_rootfs_lxc_ubuntu-13.10-  
v025/rootfs/var/www/dashjs/app/js/streaming/MediaPlayer.js
```

```
sudo gedit /usr/share/vnx/filesystems/vnx_rootfs_lxc_ubuntu-13.10-  
v025/rootfs/var/www/dashjs/index.html
```

```
sudo gedit /usr/share/vnx/filesystems/vnx_rootfs_lxc_ubuntu-13.10-  
v025/rootfs/var/www/dashjs/app/main.js
```

Fichero MPD permite realizar modificaciones al entorno, todas referentes a la transferencia de los segmentos de video.

```
sudo gedit /usr/share/vnx/filesystems/vnx_rootfs_lxc_ubuntu-13.10-  
v025/rootfs/var/www/bbbh/bbbh.mpd
```

El fichero Handler permite realizar modificaciones a la selección de segmentos y CDN's.

```
sudo gedit /usr/share/vnx/filesystems/vnx_rootfs_lxc_ubuntu-13.10-  
v025/rootfs/var/www/dashjs/app/js/dash/DashHandler.js
```

### *VNX Scenario*

A continuación se presentan los comandos mas importantes para trabajar con el escenario, además de la ubicación del fichero de configuración dentro de la maquina virtual en la que se desarrollo el presente estudio.

Este comando abre el mapa del escenario de red configurado en el fichero XML

```
sudo vnx -f /usr/share/vnx/workspace/CDN_DASH_LTE_ANYCAST.xml -v --show-  
map
```

Este comando permite arrancar el escenario en modo verbal de consola.

```
sudo vnx -f /usr/share/vnx/workspace/CDN_DASH_LTE_ANYCAST.xml -v -create
```

```
sudo vnx -f /usr/share/vnx/workspace/CDN_DASH_LTE_ANYCAST.xml -v -x  
clearscenario
```

Este comando permite abrir un navegador en los diferentes clientes, para demostrar el streaming de video sobre el escenario.

```
sudo vnx -f /usr/share/vnx/workspace/CDN_DASH_LTE_ANYCAST.xml -v -x  
chrome1
```

Este comando permite iniciar el shaper, conjuntamente todas las configuraciones de variación de ancho de banda.

```
sudo vnx -f /usr/share/vnx/workspace/CDN_DASH_LTE_ANYCAST.xml -v -x start-  
shaperf
```

### *Shaper*

El fichero metrics.txt contiene la tabla presentada en el capítulo 4, mediante este fichero podremos cargar los parámetros para implementar prestaciones de variación, como por ejemplo emular una red móvil LTE.

```
sudo gedit /usr/share/vnx/filesystems/vnx_rootfs_lxc_ubuntu-13.10-  
v025/rootfs/usr/local/bin/metrics.txt
```

Las configuraciones referentes al shaper, permiten realizar modificaciones de tiempo, paquetes perdidos y protocolos.

```
sudo gedit /usr/share/vnx/filesystems/vnx_rootfs_lxc_ubuntu-13.10-  
v025/rootfs/usr/local/bin/config
```

En este fichero se encuentra los detalles para conectar el shaper con el escenario virtual en VNX, parámetros de inicio e iteración con VNX.

```
sudo gedit /usr/share/vnx/filesystems/vnx_rootfs_lxc_ubuntu-13.10-  
v025/rootfs/usr/local/bin/shaperf
```