

COMUNIDAD WEB CACHÉ

KEVIN MORAGA



Un Modelo de Caché Web Distribuido Sobre el protocolo HTTP y P2P

Noviembre 2014 – Version 1.0

Kevin Moraga: *Comunidad Web Caché*, Un Modelo de Caché Web Distribuido Sobre el protocolo HTTP y P2P, © Noviembre 2014

SUPERVISOR:
Isaac Ramírez

UBICACIÓN:
San José, Costa Rica

FECHA:
Noviembre 2014

Sólo un tonto no tiene *miedo*.
El *valor* es ver el miedo y seguir adelante de todas formas.

— Julian Assange

Dedicado a mis padres, abuela, hermanos y hermanas que han
estado siempre a mi lado.

ABSTRACT

Short summary of the contents...

PUBLICACIONES

Some ideas and figures have appeared previously in the following publications:

Put your publications from the thesis here. The packages `multibib` or `bibtopic` etc. can be used to handle multiple different bibliographies in your document.

*We have seen that computer programming is an art,
because it applies accumulated knowledge to the world,
because it requires skill and ingenuity, and especially
because it produces objects of beauty.*

— Donald E. Knuth [13]

AGRADECIMIENTOS

Les agradezco a todas aquellas personas que han dedicado un poco de su tiempo, invirtiéndolo en mi formación y la de muchos otros alumnos de este respetado Instituto.

En torno al conocimiento y aporte de ideas, le agradezco a Nereo Campos, Herson Esquivel, Juan Carlos Brenes.

En apoyo relacionado a temas de la tesis, Wathsala Vithanage, Nuwan Gunaratne y Nishshanka Sirisena ¹, quienes fueron muy amables en responder todas las dudas que tuve en relación a su proyecto y a toda L^AT_EX-community por el soporte, ideas y el grandioso software.

¹ Miembros de diseño de Dalesa Cache

ÍNDICE GENERAL

i	INTRODUCCIÓN	1
1	INTRODUCCIÓN	3
1.1	Comunidad Web Caché	5
1.2	Definición del problema	8
1.3	Justificación	10
1.3.1	Innovación	10
1.3.2	Impacto	12
1.4	Hipótesis	13
1.5	Objetivos	13
1.5.1	Objetivo Principal	13
1.5.2	Objetivos Específicos	13
1.6	Entregables	13
ii	MARCO TEÓRICO	15
2	PROTOCOLO HTTP	17
2.1	¿Cómo trabaja?	17
2.2	Mensajes HTTP	18
2.3	Petición	19
2.4	Respuesta	21
3	PROTOCOLO P2P	25
3.1	Clasificación	25
3.1.1	Directorio Centralizado	25
3.1.2	Directorio Distribuido	26
3.1.3	Directorio Híbrido	26
3.2	Mecanismos de búsqueda en Redes P2P	27
4	MODELOS DE WEB CACHE	29
4.1	Web Caching mediante Proxy	30
4.1.1	Proxy Simple	30
4.1.2	Proxy Jerárquico	30
4.1.3	Proxy Descentralizado	31
4.2	Redes CDN	31
5	MODELOS DE CONSISTENCIA	35
5.1	Razones para Replicar	35
5.2	Modelos de Consistencia sin Sincronización	35
5.3	Modelos de Consistencia con Sincronización	37
6	COMUNIDADES VIRTUALES	39
6.1	Definición de una Comunidad Virtual	39
6.2	Características de una Comunidad Virtual	39
6.3	Tipos de Comunidades Vituales	40

iii	DISEÑO DE LA CWC	45
7	CHAPTER TITLE	47
7.1	Section Title	47
7.1.1	Subsection Title	47
7.1.2	Subsection Title	47
7.2	Section Title	47
8	CHAPTER TITLE	49
8.1	Section Title	49
8.1.1	Subsection Title	49
8.1.2	Subsection Title	49
8.2	Section Title	49
iv	ANÁLISIS Y RESULTADOS	51
9	CHAPTER TITLE	53
9.1	Section Title	53
9.1.1	Subsection Title	53
9.1.2	Subsection Title	53
9.2	Section Title	53
10	CHAPTER TITLE	55
10.1	Section Title	55
10.1.1	Subsection Title	55
10.1.2	Subsection Title	55
10.2	Section Title	55
v	CONCLUSIONES	57
11	CHAPTER TITLE	59
11.1	Section Title	59
11.1.1	Subsection Title	59
11.1.2	Subsection Title	59
11.2	Section Title	59
vi	APPENDIX	61
A	APPENDIX TEST	63
A.1	Appendix Section Test	63
A.2	Another Appendix Section Test	64
	BIBLIOGRAFÍA	65

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1	Ejemplo de Conexión de Video	7
Figura 2	Conexión HTTP	17
Figura 3	Directorio Centralizado	26
Figura 4	Solución Distribuida	27
Figura 5	Directorio Híbrido	27
Figura 6	Conexión Directa	30
Figura 7	Proxy Simple	30
Figura 8	Proxy Jerárquico	31
Figura 9	Proxy Descentralizado	32
Figura 10	Red CDN	33

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1	Uso de Internet por Región Geográfica ITU .	8
Tabla 2	Métodos de HTTP	20
Tabla 3	Métodos de Petición	22
Tabla 4	Autem usu id	64

ÍNDICE DE LISTADOS

Listado 1	A floating example	64
-----------	--------------------	----

ACRÓNIMOS

API	Application Programming Interface
BGP	Border Gateway Protocol
CV	Comunidad Virtual
CWC	Comunidad Web Caché
DNS	Domain Name Service
HTTP	Hypertext Transfer Protocol
NLB	Network Load Balancing
P2P	Peer to Peer
UML	Unified Modeling Language
WAN	Wide Area Network
WWW	World Wide Web

Parte I

INTRODUCCIÓN

En la siguiente sección se describirán las razones que impulsaron el desarrollo de ésta investigación, mostrando el problema su justificación y además cuáles son los objetivos propuestos.

INTRODUCCIÓN

Durante los últimos años el incremento en el uso de Internet ha sido, se podría decir, exponencial. Diariamente nacen cientos de sitios web ofreciendo información de todos los posibles temas, desde el estado del clima hasta la imagen más reciente de nuestro vecino planeta rojo. El acceso a Internet pasó de estar en unas cuantas manos, a ser usado diariamente por la mayoría de las personas en el mundo.

Uno de los principales aportes, que ayudó sin duda a la consolidación del Internet como fenómeno mundial, en la década de los noventas, fue la creación del protocolo HTTP, el cual vino a establecer una forma universal para intercambiar información. Este protocolo utiliza una arquitectura cliente-servidor, donde un cliente realiza una petición de algún recurso al servidor y el servidor satisface esta petición mediante el envío del recurso solicitado.

Una consecuencia directa de la aceptación del protocolo HTTP en el mercado mundial fue el crecimiento de Internet. Pero esto también implicó una marcada evolución en la tecnología, pues actualmente se puede acceder a gran cantidad de información instantáneamente y la mayoría de los usuarios de Internet ignoran todo lo que esto implica. Detrás de este uso intensivo se esconde, una enmarañada red tejida de conexiones redundantes, encargadas de transportar las conexiones desde los usuarios hasta los servidores que poseen la información.

Por otro lado, es posible dividir Internet en dos mundos totalmente diferenciados, el primero desde su concepción, hecha en ARPANET, que fue con la idea principal de soportar cualquier desventura, y su fin es el transporte de información (capa de transporte). Y el otro mundo reside en el contenido per sé, el cual corresponde precisamente a la capa de aplicación, donde el protocolo HTTP nuevamente se hace presente como uno de los principales mecanismos de acceso a la información.

Ahora bien ¿Qué justifica esta evolución en la tecnología tanto desde el punto de vista de protocolo como de dispositivos involucrados? La respuesta es muy sencilla. Al ser HTTP un protocolo tan versátil, un lenguaje universal para el intercambio de datos, se comenzó a utilizar para diferentes aplicaciones. Se pasó de un simple intercambio de información, a ser la piedra angular por la cual se mueve la mayoría de las actividades humanas. Hoy en día tenemos muchos usos, con la aparición de la multimedia los requerimientos de todas las partes involucradas (cliente, servidor y medio de comunicación) se han

HTTP: Hypertext Transfer Protocol. Este protocolo se define por primera vez en el RFC 1945 [3].

ARPANET fue una de las primeras redes de conmutación de paquetes operacional producto de la guerra fría, cuando Estados Unidos quería una red de comando y control que pudiera sobrevivir una guerra nuclear [24].

incrementado. Actualmente se comparten videos de gran tamaño, se transmite televisión en alta definición, se comparte música, documentos; en fin un gran número de archivos que utilizan grandes anchos de banda, que hasta hace unos años para una conexión de 56Kbps parecía imposible.

Pero ¿Acaso esta maravilla tecnológica es gratuita? y la respuesta es no. Como se mencionó anteriormente cada parte involucrada requiere adquirir una nueva tecnología. Y es por ello que se analizará cada una de las partes involucradas en el intercambio de información, por separado.

En el caso del cliente, es posible imaginar a una persona en su casa que renta una conexión a Internet de banda ancha para compartir archivos, revisar su correo electrónico, escuchar música, ver películas, interactuar en algún juego en línea, participar en video conferencias; y es que con estos requerimientos el equipo requerido es bastante costoso, pero se puede decir que no inaccesible.

Ahora en el otro extremo, el servidor. Por ejemplo se supondrá un servidor que aloja un sitio web que hace transmisión de videos, los cuales son aportados por los mismos usuarios del servicio web. Ahora bien, si en este ejemplo el sitio recibiera un gran número de visitas, 100 visitas por segundo, usted como lector y experto encontraría una solución fácil al problema que supone el alto tráfico; y aumentaría el número de servidores que atienden el servicio web, además al esquema de solución se le podría agregar un balanceo de carga. Con estos previos ajustes, en efecto se puede hacer frente a este gran número de usuarios.

NLB, Network Load Balancing. Consiste en el balanceo de tráfico a través de dos o más enlaces WAN sin la utilización de complejos algoritmos de enrutamiento como BGP [29].

Si bien es cierto, la anterior solución es válida y en muchas ocasiones implementada. Es necesario tomar en cuenta otras variables y cuantificar todos los costos asociados, por ejemplo el precio por servidor, la solución de NLB y una conexión de Internet lo suficientemente buena como para servir videos. Unas cuantas sumas hasta aquí ya arrojarían números bastante elevados, pero lo más preocupante es que nunca es suficiente, siempre es necesario estar actualizándose, pues lo único constante es que la tecnología es cambiante y las necesidades del cliente van en aumento.

Por otro lado, cubrir esta necesidad es una cosa, pero además de esto hay que pensar en otros riesgos asociados y que son inherentes en la publicación de un sitio en la Web por ejemplo ataques por Denegaciones de Servicio Distribuidas (DDoS), una caída del proveedor de servicios o simplemente un incremento inesperado de usuarios. Son muchas las variables que cubrir, y en todas ellas se podría decir que existen soluciones ya conocidas, pero todas implican mayor inversión por parte del individuo que desea publicar el contenido.

Debido al problema expuesto anteriormente, aparece como solución el Caché. En su definición más sencilla podemos decir que es:

"una región de memoria rápida que contiene copias de datos. El acceso a la copia en caché es más eficiente que el acceso a la original" [23].

En este caso en particular se podría ver como un modelo mediante el cual, objetos que se encuentran hospedados en un sitio web son almacenados en otros servidores de forma que pueden ser distribuidos desde otros servidores distintos al servidor web original, esto reduce el número de peticiones que llegan al servidor original lo que disminuye su carga (en el marco teórico de este documento se repasarán los modelos de web caché existentes).

El caché ha sido un tema de estudio en cientos de tesis e investigaciones, pero las soluciones usadas actualmente se limitan a soluciones que deben ser adquiridas por el dueño del sitio web y como se ha discutido anteriormente, esto no es muy rentable, o bien se podrían utilizar soluciones que sean adquiridas por el cliente en su beneficio individual. Parece ser un callejón sin salida, donde la única solución es la inversión en nuevo equipo.

Por otro lado, hay otros dos aspectos de suma importancia que fueron traídos con el auge del Internet, el primero es el establecimiento de comunidades virtuales, en las cuales un grupo de Internautas se reúnen alrededor de un sitio web que presenta información de su interés y definidos como comunidad ayudan para mantenerlo, bajo un conjunto de reglas propias.

El segundo aspecto es el compartir archivos en Internet (tal vez el más polémico de todos) y el que más le interesa a la presente investigación; es el protocolo P2P. Éste básicamente permite que un número de usuarios que cuentan con un archivo específico lo compartan con otros de manera simultánea. Esto quiere decir que si 100 usuarios tienen un archivo de interés común y éste tiene un tamaño de 100MB, en lugar de descargarlo desde un solo servidor, descarga pequeñas partes desde cada uno de los usuarios que lo poseen, haciendo el proceso de descarga es mucho más rápido y evitando que se sature a un solo servidor.

Para ir finalizando esta introducción, el presente documento pretende proponer una posible solución de bajo costo para resolver el problema anteriormente expuesto. A esta solución se le llamó Comunidad Web Caché.

Caché: "Es una región de memoria rápida que contiene copias de datos. El acceso a la copia en caché es más eficiente que el acceso a la original" [23].

1.1 COMUNIDAD WEB CACHÉ

La idea de la Comunidad Web Caché nace a partir de las siguientes premisas:

1. Los usuarios cuentan con una gran cantidad de recursos en sus computadoras, los cuales son desperdiciados en más de un 80 %.
2. La mayoría del contenido en Internet es de interés común y no solo de la persona que lo publica, entonces si éste es de interés común ¿Porqué solo unos cuantos deben mantenerlo?. ¿Porqué no se puede distribuir entre todos?.
3. Quien publica contenido en Internet no siempre tiene la capacidad para invertir en grandes servidores que puedan servir a un gran número de usuarios.
4. Así como existen comunidades en Internet que se conforman por un interés común, por ejemplo hacer amigos, deportes, entre otros. ¿Porqué no crear una comunidad alrededor de un sitio web?.

La propuesta que se quiere implementar es dejar de lado el modelo tradicional de servir archivos mediante HTTP e implementar un nuevo modelo de Web Caché distinto al tradicional, utilizando las ventajas de ambos, combinado con la creación de comunidades de virtuales y la utilización de los recursos de los miembros de éstas comunidades; es posible utilizar un protocolo de transferencia distribuida de contenido, en este caso P2P, para servir archivos desde diferentes localizaciones.

Basado en la imagen 1 se supondrá el siguiente ejemplo: se cuenta con el sitio www.cwc.org que sirve archivos de video de más de 30Mb, con un modelo tradicional HTTP (cliente-servidor) un cliente obtendría el archivo desde un único servidor. Ahora bien, si se tienen 1000 clientes realizando esta misma operación, serían muchas solicitudes para el servidor (en el caso que éste tuviera recursos limitados), por lo tanto es necesario analizar el aumento de los recursos del servidor, entre otras cosas.

La tesis consistiría en crear una comunidad alrededor de sitio anteriormente mencionado. En caso que al menos 30 de esos 1000 clientes formaran parte de la comunidad y que éstos tienen los recursos suficientes para servir archivos, entonces es posible servir los archivos en cuestión desde 31 lugares diferentes, en lugar que desde un único punto. Es evidente las ventajas que se pueden dar con un modelo como este. Ahora ¿Qué pasa si miembros de la comunidad no tienen suficientes recursos? En lugar de servir todo el archivo desde una sola localización, ese archivo se puede partir y servir desde múltiples ubicaciones, osea, que en lugar de servir archivos grandes de 30MB o más, se pueden servir sólo una porción de éstos. Esto siguiendo el concepto de una comunidad donde cada miembro aporta lo que puede, en beneficio de todos.

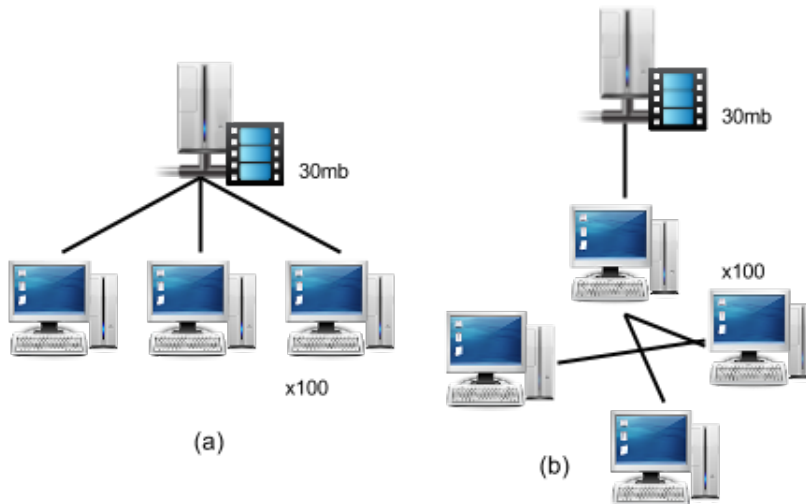


Figura 1: Ejemplo de Conexión de Video

Otra idea podría ser que los clientes con menos recursos sirvan archivos pequeños como por ejemplo imágenes. Esto le quitaría gran cantidad de trabajo al servidor ya que una imagen significa un hilo de ejecución más que se debe crear para servir un archivo.

Uno de los objetivos es que estas comunidades se conformen de manera automática y voluntaria, esto quiere decir que un usuario instala un complemento en su navegador web y el sitio al que trata de acceder (el cual utiliza el protocolo de CWC) realiza el intercambio de manera automática sobre los archivos más relevantes que se desean mantener en caché, haciendo que éstos archivos puedan ser servidos desde la nueva ubicación dada por el nuevo miembro de la comunidad.

La cache podrá tener dos modos de operación, el primero consiste en la administración por parte del usuario, esto quiere decir que cuando el usuario accede a un contenido este queda automáticamente en la cache y el usuario puede decidir si dejarlo o eliminarlo. El segundo sería administrado por el servidor, o sea que cuando este modo se encuentra activo el servidor tendrá derecho a utilizar los recursos asignados a la caché, por lo que el servidor podrá enviar archivos que considere que deberían de estar en la caché o borrar los que no considere necesarios.

Se ampliará con mayor detalle el funcionamiento y diseño del protocolo de CWC en los siguientes capítulos.

1.2 DEFINICIÓN DEL PROBLEMA

En los últimos años se ha dado un alto crecimiento en el número de usuarios de la "World Wide Web", por ejemplo a continuación se muestran las estadísticas del crecimiento de usuarios de acuerdo a el área geográfica en los últimos 10 años:

REGIÓN	2005	2010	2014
África	2.4 %	9.8 %	19 %
Américas	35.9 %	50.5 %	65.5 %
Estados Árabes	8.3 %	23.0 %	40.6 %
Asia y Pacífico	9.4 %	22.5 %	34.4 %
Europa	46.3 %	66.6 %	74.8 %

Tabla 1: Uso de Internet por Región Geográfica ITU.

Como se puede ver, en casi diez años se ha duplicado o más la cantidad de usuarios de Internet, lo cual implica que se dará una mayor demanda sobre los sitios web, esto se traduce en que el dueño de un sitio web que presta un servicio deberá hacer una inversión en más recursos computacionales, como por ejemplo poder procesamiento y ancho de banda para poder servir a sus usuarios de la mejor manera posible.

Esto quiere decir que la publicación de un sitio web con contenido de calidad no es tan trivial (se hablará en términos de contenido de calidad, ya que el contenido justificará la cantidad de usuarios que recibirá un sitio web, o sea entre mayor sea la calidad del contenido ofrecido por un sitio web para un grupo de usuarios en particular, así será la cantidad de usuarios que recibirá) ya que se deberán tomar en cuenta aspectos de crecimiento en el número de usuarios que se visiten el sitio web y los requerimientos computacionales necesarios para poder prestar un servicio de calidad, acorde con los contenidos publicados.

Tomando en cuenta que realizar una publicación en Internet implica un costo para el publicador y éste se incrementa conforme aumenta el número de usuarios que soliciten los contenidos del sitio web, se podría elaborar una función de costo donde se incluyan las variables anteriormente expresadas en función de una calidad de servicio aceptable.

Este costo se traduce en que los interesados en publicar, deban de pagar por conexiones a Internet de Alta Velocidad y adquirir grandes granjas de servidores que soporten la infraestructura para hacer frente a la demanda. Es por ello que en la actualidad, solo las grandes compañías son las únicas con la capacidad de sufragar estos gastos,

mediante el establecimiento de grandes caches regionales que puedan atender el tráfico generado en un área específica.

Ahora ¿Qué pasa con las pequeñas compañías, instituciones sin fines de lucro e individuos que quieren crear un sitio web con contenido de calidad y no cuentan con suficientes recursos para sufragar los gastos generados por un alto número de usuarios?. Una opción es buscar financiamiento o poner precio a sus contenidos o simplemente buscar la forma de ganar dinero mediante el bombardeo de publicidad en los sitios web, lo cual es un aspecto negativo para los usuarios.

Una vez que se han visto las necesidades de recursos computacionales para publicar contenido en Internet que es accedido por un alto número de usuarios, ¿Qué pasa con los recursos computacionales que tiene el usuario/cliente?, ¿Los recursos del cliente tienen una utilización de un 100 % en todo momento o se encuentran ociosos la mayoría del tiempo?, ya se notó que la cantidad de usuarios con acceso al World Wide Web crece enormemente, esto implica que un gran número de usuarios cuentan con una conexión a Internet con una velocidad aceptable para acceder a los contenidos de "moda" (como videos, música, entre otros). Además también implica que cada uno de esos usuarios cuenta con una o más computadoras, las cuales obviamente cuentan con recursos computacionales aceptables para poder visualizar los contenidos ofrecidos por los sitios web, entonces se tendría la siguiente pregunta: ¿Qué sucede con todos éstos recursos de cómputo (limitado al ancho de banda, procesamiento y memoria) mientras se accede a alguna comunidad virtual, se utiliza una aplicación de ofimática, se reproduce algún contenido de multimedia en Internet o simplemente se ejecuta una aplicación de chat modo texto? Y la respuesta es simple: se desperdician los recursos, están ociosos y están esperando a ser utilizados.

En términos de definición de la problemática, éste se encuentra compuesto por cinco partes esenciales:

1. Falta de recursos de quien publica contenido de calidad en Internet, esto implica un alto costo para poder atender un mayor número de clientes.
2. Un alto desperdicio de recursos en los clientes, entre estos recursos podemos citar: Ancho de Banda, Almacenamiento, Memoria y Procesamiento.
3. Una baja en la calidad del servicio conforme aumenta el número de clientes, tiempos de respuesta poco aceptables o bien se ve comprometida la continuidad del negocio.
4. El número de usuarios en Internet se incrementa constantemente cada año, para muestra la Tabla 1, la cual reúne el crecimiento en los últimos 10 años.

5. El problema inherente de tener un sitio con una disponibilidad del 100 %, soportando las solicitudes usuales de los clientes, las denegaciones distribuidas y las fallas en los servicios.

¿Cómo dar solución a este problema?, ¿Es posible que la solución se encuentre en una utilización eficiente de los recursos tanto del publicador cómo de los clientes?, ¿Es posible encontrar una solución de bajo costo que aproveche las causas de estos problemas para dar una solución que resuelva los problemas?, ¿Es posible el establecimiento de una comunidad virtual en la cual cada miembro de la misma, aporte un poco de recursos computacionales con el afán de mantener contenido de calidad en Internet, el cual pueda ser accedido de una forma rápida y fiable? Y aun más importante ¿Es posible establecer una comunidad virtual basada en una aplicación de bajo costo que utilice de una manera eficiente los recursos computacionales aportados por cada miembro y además se pueda utilizar con las aplicaciones de navegadores y servidores web utilizados actualmente?

1.3 JUSTIFICACIÓN

1.3.1 *Innovación*

La Comunidad Web Caché trata de establecer una comunidad en la cual cada miembro comparta un poco de sus recursos computacionales como almacenamiento, procesamiento y ancho de banda para buscar el bien común. Esto se traduce en un incremento en la eficiencia y la velocidad del servidor web que sirve archivos.

Por otro lado, se han identificado varias problemáticas que se deben tomar en cuenta en la creación del presente proyecto y que es necesario cubrir en torno al diseño de la Comunidad Web Caché. Entre ellas se pueden mencionar:

1. El incremento exponencial en el número de usuarios en Internet.
2. El incremento en los recursos computacionales accesibles a los usuarios en Internet, los cuales son desperdiciados.
3. La falta de recursos computacionales por parte de quien publica contenido de calidad en Internet, cuando aumenta el número de usuarios se vuelve un problema ya que entre más usuarios se necesitan más recursos para poder servir a estos usuarios de una manera satisfactoria.
4. La tendencia en los contenidos de moda en Internet, archivos estáticos de gran tamaño básicamente contenidos de multimedia.

5. El gran numero de comunidades con objetivos específicos que se establecen en Internet de la cual se puede tomar la decisión de formar parte.
6. La necesidad de presentar continuidad del negocio, tomando en cuenta los ataques de DDoS y tolerancia a desastres.

El proyecto pretende la utilización de tecnologías y productos ya establecidos, entre los cuales se tienen:

1. Protocolo HTTP
2. Protocolo P2P
3. Navegadores Web
4. Servidores Web

Se podría resumir el funcionamiento de la Comunidad Web Caché como:

Quien publica contenido de calidad en Internet podrá decidir cual contenido podrá ser mantenido por la comunidad (el contenido que podrá ser mantenido por la comunidad es el que se pueda mantener en la caché, esto por el hecho de respetar el copyright). Los miembros de la comunidad podrán aportar un poco de sus recursos computacionales; es importante que ellos decidan la cantidad que aportarán. Cuando un miembro de la comunidad solicita un archivo, como un video, este será servido desde el servidor principal y desde los otros miembros de la comunidad que posean este archivo, sincronizado y previamente transferido mediante un mecanismo de P2P. Lo anterior supone que debería de incrementar la velocidad al momento de responder la solicitud, pues el archivo es seccionado y transmitido desde distintas ubicaciones, con distintos recursos y en el peor de los casos se volvería al modelo tradicional donde el archivo es distribuido desde el servidor principal.

Uno de los puntos focales del CWC es precisamente la parte comunitaria y es por ello que en el diseño se tomarán en cuenta varios conceptos propios de comunidades virtuales como:

1. Aporte de recursos o participación libre: Los miembros de la comunidad decidirán qué cantidad de recursos computacionales aportaran.
2. Adhesión abierta: Puedo decidir formar parte de la comunidad o no.

3. Respeto por los contenidos privados: Se respeta el Copyright, quien publica los contenidos de calidad podrá decidir si estos pueden ser mantenidos por la comunidad o no.
4. Bien común: los contenidos deben ser servidos de manera rápida y eficiente.
5. Apoyo: Si alguno de los miembros de la comunidad falla otro podrá tomar su lugar (tolerancia a fallos).

En general, el CWC busca el establecimiento de una comunidad cooperativa sobre Internet utilizando los navegadores y servidores web actuales, y se diferencia de otras soluciones ya existente. Por ejemplo, los Proxys buscan mejorar el rendimiento sobre una red de área local.

Por otro lado, uno de los modelos más parecidos a CWC son los Proxy Federados, mejor conocidos como "Cooperative Web Caching". Éstos buscan tener un conjunto de servidores proxy que se comuniquen y que compartan los contenidos que tienen en cache sobre cualquier tipo de red, podrían utilizar en una WAN o incluso en Internet. Pero en comparación a éste último, en el CWC cualquier usuario puede formar parte de la comunidad, sin necesidad de tener que configurar un Proxy dedicado.

1.3.2 *Impacto*

El proyecto impactará tanto al publicador de contenido de calidad en Internet, así como a los usuarios, en los siguientes aspectos:

PUBLICADOR

- Instalar un componente a su servidor web que le permita especificar los contenidos de calidad que serán mantenidos por la cache y que controle la consistencia de la cache, al final cada petición de un archivo llegara al servidor web y este se encargara de decir cuáles son los miembros de la cache que servirán estos.
- Conforme el número de miembros de la comunidad crezca, se podrá experimentar menos carga en los servidores, por consiguiente se podrán servir muchos más usuarios.

USUARIO

- Instalar un componente en el explorador web de su preferencia.
- Establecer qué cantidad de recursos desea aportar a la caché.
- Conforme el número de miembros de la comunidad crezca, se podrá experimentar una utilización más eficiente de sus recursos computacionales, una mejora en los tiempos de respuesta

cuando se hace una petición a un servidor web y una mayor tolerancia a fallos, dándole continuidad al negocio.

1.4 HIPÓTESIS

El desarrollo de una caché web distribuida que permita compartir de manera transparente y eficiente los recursos computacionales distribuidos ofrecidos colaborativamente mediante una comunidad de servidores, tendrá un impacto positivo en el bajar los costos y mejorar la continuidad del negocio para las comunidades virtuales.

1.5 OBJETIVOS

1.5.1 *Objetivo Principal*

Desarrollar una caché web distribuida que permita compartir de manera transparente y eficiente los recursos computacionales distribuidos ofrecidos colaborativamente mediante una comunidad de servidores.

1.5.2 *Objetivos Específicos*

- Investigar y comparar trabajos relevantes relacionados con sistemas distribuidos
- Identificar las oportunidades de mejoramiento estratégico de las plataformas existentes.
- Especificar los requerimientos de la caché web distribuida basada en HTTP.
- Diseñar una arquitectura de una caché web distribuida bajo un conjunto de principios tales como: transparencia de ubicación de los recursos, solución de bajo costo y calidad de servicio.
- Desarrollar un prototipo de la caché web distribuida.

1.6 ENTREGABLES

1. Informe investigación funcionamiento de protocolo HTTP.
2. Informe investigación funcionamiento de protocolo P2P.
3. Informe investigación de modelos de Web Caché existentes.
4. Informe investigación sobre comunidades virtuales.
5. Informe investigación de aplicaciones que utilicen los diferentes modelos de Web Caché.

6. Informe de benchmarks realizados a las diferentes aplicaciones que utilizan Web Caché.
7. Informe investigación de modelos de consistencia.
8. Documento de requerimientos de Comunidad Web Caché.
9. Prototipo de CWCCliente.
10. Prototipo de CWCTServer.
11. Análisis de rendimiento de velocidad del entorno de CWC.
12. Análisis de rendimiento de costos del Entorno de CWC.

Parte II

MARCO TEÓRICO

En los siguientes capítulos se aclararán temas relacionados a los protocolos utilizados por CWC, como lo son HTTP y P2P. Además establecerán todas aquellas definiciones necesarias para el desarrollo de la presente investigación.

PROTOCOLO HTTP

2.1 ¿CÓMO TRABAJA?

El protocolo HTTP es un protocolo petición/respuesta. Un cliente envía una petición al servidor en la forma de un método de petición, URI, versión de protocolo, seguido de un mensaje estilo- MIME conteniendo los modificadores de la petición, información del cliente y posiblemente el contenido del cuerpo sobre una conexión con el servidor, el servidor resuelve con un mensaje de estatus, incluyendo la versión del protocolo del mensaje y el código de error o éxito, seguido de un mensaje estilo-MIME que contiene la información del servidor, la meta-información de la entidad y posiblemente el contenido del cuerpo de la entidad. La conexión más simple sería en la cual el agente de usuario realice una conexión directa con el servidor de origen, entonces la conexión de una petición sería:

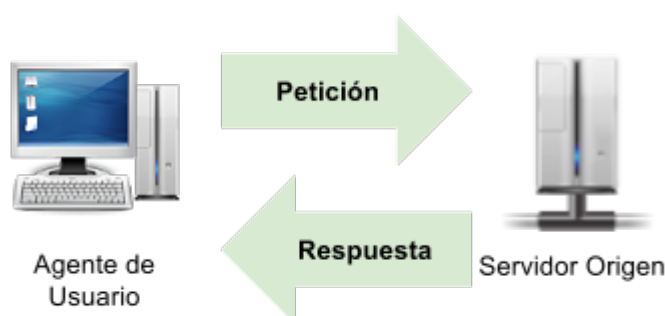


Figura 2: Conexión HTTP

En conexiones más complejas pueden intervenir uno o más intermediarios, como lo pueden ser:

- Proxies que son agentes de reenvío, este recibe peticiones para un URI en su forma absoluta, sobre escribe toda o parte del mensaje y reenvía las peticiones re-formateadas hacia el servidor identificado por la URI.
- Gateway es un agente de recepción, actuando como una capa sobre otros servidores y si es necesario traduce la petición al protocolo del servidor subyacente.

- Túnel: Actúa como un punto de transmisión entre dos conexiones sin cambiar el mensaje, los túneles son usados cuando la conexión pasa a través de un intermediario (como un firewall) aún cuando el intermediario no entiende los contenidos del mensaje.

2.2 MENSAJES HTTP

TIPOS DE MENSAJES: Los tipos de mensajes HTTP son de petición de un cliente hacia el servidor y de respuesta de un servidor hacia el cliente.

“HTTP-message = Request | Response ; HTTP/1.1 messages”

Los mensajes Request y Response utilizan la forma genérica de mensajes, definido en RFC822 para transferencia de mensajes. Ambos mensajes consisten una línea de inicio, uno o más valores de encabezado, una línea vacía que indica el final de los valores de encabezado y posiblemente un cuerpo del mensaje [6].

A continuación se describirán con más detalle los mensajes mínimos necesarios para establecer una comunicación HTTP:

ENCABEZADOS DEL MENSAJE: Los valores HTTP, los cuales incluyen general-header, request-header, response-header y entity-header, siguen el mismo formato genérico del RFC822. Cada campo del encabezado consiste de un nombre seguido por “:” y un valor. Los nombres de campos son case-insensitive, el valor se puede extender múltiples líneas y el orden en que se reciben de los campos del header no es significativo [6].

CUERPO DEL MENSAJE: El cuerpo del mensaje de un mensaje HTTP es utilizado para transportar el cuerpo de la entidad asociado con la respuesta o la petición. El cuerpo del mensaje difiere del cuerpo de la entidad solo cuando una codificación de transferencia ha sido aplicada. “message-body = entity-body | entity-body codificado” El campo Transfer-Encoding debe ser utilizado para indicar cualquier codificación de transferencia aplicada por una aplicación para asegurar la transferencia adecuada del mensaje. Transfer-Encoding es una propiedad del mensaje no de la entidad [6].

LARGO DEL MENSAJE: El transfer-length de un mensaje es el largo del cuerpo del mensaje a como este aparece en el mensaje, sin que se haya aplicado ningún filtro. Cuando el cuerpo del mensaje es incluido con un mensaje, el transfer-length de ese cuerpo es determinado por uno de [6]:

- Cualquier mensaje de respuesta que no incluya cuerpo del mensaje como las repuestas de estado 1xx, 204 y 304 son siempre terminadas con la primer línea vacía después de los campos de encabezado presentes en el mensaje.
- Si un campo de Transfer-Encoding se encuentra especificado y tiene cualquier valor diferente a "Identity", entonces el transfer-length está determinado por el uso de "chunked" transfer-coding, a menos que el mensaje se terminara por que se cerró la conexión.
- Si un campo Content-Length se encuentra presente, su valor decimal en octetos representa el entity-length y transfer-length. Content-Length no se debe enviar si los dos anteriores no son iguales.
- Si el mensaje utiliza el tipo de media "multipart/byteranges" y el largo de transferencia no está especificado, entonces este tipo de media determina el transfer-length. Este tipo de media no debe ser utilizado a menos que quien envía conozca que el recipiente lo puede parsear.
- Por un cierre de conexión por parte del servidor

2.3 PETICIÓN

Un mensaje de petición de un cliente hacia un servidor incluye, en la primera línea de ese mensaje, el método a ser aplicado al recurso, el identificador del recurso y la versión del protocolo en uso [6].

```
"Request = Request-Line *(( general-header | \\  
request-header | entity-header ) CRLF) \\  
CRLF  
[message-body ]"
```

LÍNEA DE PETICIÓN: La línea de petición inicia con un token de método, seguido por la URI que se está pidiendo y la versión del protocolo y terminando con CRLF (retorno de carro y cambio de línea). Los elementos son separados por caracteres SP [6].

```
"Request-Line = Método SP URI-pedida SP \\  
HTTP-Version CRLF"
```

MÉTODO El token de método indica el método a ser aplicado al recurso identificado por la URI-pedida. El método es case-sensitive.

URI-PEDIDA La URI-Pedida es un identificador uniforme de recurso (URI) e identifica el recurso sobre el cual se va a aplicar el mensaje de petición.

```
"Request-URI = "*" | absoluteURI | abs_path | authority"
```

MÉTODO	DESCRIPCIÓN
OPTIONS	Representa una solicitud de información acerca de las opciones de comunicación disponibles en la cadena de Petición/Respuesta identificada por el URI-pedida.
GET	Significa que se recupere cualquier información (en la forma de entidad) que es identificada por la URI-pedida.
HEAD	Es idéntica a GET con la excepción de que el servidor no retornara en cuerpo del mensaje en la respuesta.
POST	Se utiliza para solicitar que el servidor original acepte la entidad envuelta en la petición como un nuevo subordinado del recurso identificado por el URI-pedida en la línea de petición.
PUT	Solicita que la entidad envuelta sea almacenada bajo el URI-pedida suplida.
DELETE	Solicita que el servidor original borre el recurso identificado por el URI-pedida
TRACE	Es utilizada para invocar un remoto, de nivel de aplicación loop- back del mensaje de petición.
CONNECT	Se utiliza con proxies que pueden dinámicamente cambiarse para ser un túnel.
extension-method	Definidos por alguna aplicación.

Tabla 2: Métodos de HTTP [Tanenbaum and Wetherall](#).

Las opciones del URI-pedida dependen de la naturaleza de la petición. El asterisco significa que la petición no aplica a ningún recurso en particular, pero al servidor en sí mismo y solo es permitido cuando el método utilizado no necesariamente aplica a un recurso [6].

EL RECURSO IDENTIFICADO POR UNA PETICIÓN Para extraer el identificador de recurso por una petición en Internet es determinado mediante el proceso de examinar ambos URI-pedida y el campo del encabezado HOST. Un servidor de origen que no diferencie recursos de acuerdo en el host solicitado debe utilizar las siguientes reglas para identificar el recurso pedido [6]:

1. Si URI-pedida es un URI absoluta, el HOST es parte de URI-pedida. Cualquier campo de encabezado HOST debe ser ignorado.
2. Si URI-pedida no es una URI absoluta y la petición incluye un campo de encabezado HOST, el HOST es determinado por el campo HOST de la petición.
3. Si el HOST identificado por las reglas 1 y 2 no es un HOST valido en el servidor entonces el servidor deberá devolver la respuesta 400 Bad Request.

CAMPOS DE ENCABEZADO DE UNA PETICIÓN El encabezado de la petición permite a el cliente pasar información adicional acerca de la petición y acerca del cliente al servidor. Estos campos actúan como modificadores de la petición, con semántica equivalente a los parámetros en la invocación de métodos en los lenguajes de programación. Entre las más importantes se encuentran:

2.4 RESPUESTA

Después de recibir el interpretar un mensaje de petición, el servidor responde con un mensaje de respuesta HTTP.

```
"Response = Status-Line *(( general-header | \\  
response-header | entity-header ) CRLF)  
CRLF  
[message-body ]"
```

LÍNEA DE ESTADO: La primera línea de un mensaje de respuesta es Status-Line, la cual se encuentra conformada por una versión de protocolo seguida por un código numérico de estatus y su frase de texto asociada, con cada elemento separado por caracteres SP [6].

```
"Status-Line = HTTP-Version SP Status-Code \\"
```

MÉTODO	DESCRIPCIÓN
Accept	Se utiliza para especificar ciertos tipos de media que son aceptables por la respuesta.
Accept-Charset	Se utiliza para indicar cuales CHARSETS son aceptables en la respuesta.
Accept-Encoding	Similar a ACCEPT pero limita los content-encodings aceptables en la respuesta.
Accept-Language	Similar a ACCEPT pero con la diferencia que restringe el conjunto de lenguajes que son preferidos como respuesta a la petición.
Authorization	Se utiliza cuando el agente de usuario quiere identificarse con él con el servidor. Se envían las credenciales.
Cache-Control	Se utiliza para especificar directivas que deben ser obedecidas por todos los mecanismos de cache a lo largo de la cadena de Petición/Respuesta.
Cookie	Muestra la cookie establecida privamente que se regresa al servidor.
Host	Contiene el nombre de DNS del servidor.
User-Agent	Contiene la información sobre el navegador y su plataforma.
Referer	El URL anterior desde el cual provino la solicitud.
Set-Cookie	La cookie que debe guardar el cliente.
Server	Información sobre el servidor web.

Tabla 3: Métodos de Petición [Tanenbaum and Wetherall](#).

SP Reason-Phrase CRLF"

CÓDIGO DE ESTADO Y FRASE: El código de estado es un código de resultado de 3 dígitos que indica el intento de entender y satisfacer la petición. Esos códigos ya se encuentran definidos. La frase intenta dar una corta descripción textual del Código de estado [6].

ENCABEZADO DE RESPUESTA: Los campos del encabezado de respuesta permiten al servidor pasar información adicional acerca de la respuesta que no pueden ser colocadas en la Status-Line. Estos campos del encabezado dan información acerca del servidor y acerca de futuros accesos al recurso identificado por la URI-Pedida [6].

PROTOCOLO P2P

Una red peer-to-peer (P2P) o red de pares, es una red de computadoras en la que todos o algunos aspectos de ésta, funcionan sin clientes ni servidores fijos, sino una serie de nodos que se comportan como iguales entre sí. Es decir, actúan simultáneamente como clientes y servidores respecto a los demás nodos de la red [30].

Las redes peer-to-peer aprovechan, administran y optimizan el uso del ancho de banda de los demás usuarios de la red por medio de la conectividad entre los mismos, obteniendo más rendimiento en las conexiones y transferencias que con algunos métodos centralizados convencionales, donde una cantidad relativamente pequeña de servidores provee el total del ancho de banda y recursos compartidos para un servicio o aplicación. Alfredo F. nos dice que de forma simple puede verse como la comunicación entre pares o iguales utilizando un sistema de intercambio [5].

Los sistemas compañero a compañero (o P2P por sus siglas en inglés) permiten que computadoras de usuario final se conecten directamente para formar comunidades, cuya finalidad sea el compartir recursos y servicios computacionales. En este modelo, se toma ventaja de recursos existentes en los extremos de la red, tales como tiempo de CPU y espacio de almacenamiento. Las primeras aplicaciones emergentes se orientaban a compartir archivos y a la mensajería [5].

3.1 CLASIFICACIÓN

3.1.1 *Directorio Centralizado*

Esta primera visión se puso en práctica para el año 1997 con la red Napster [19]. Bajo este modelo los clientes o peers realizan el descubrimiento y búsqueda de los otros miembros mediante un servidor central, luego el mismo servidor se encarga de negociar la conexión entre ambos clientes.

Este tipo de red P2P se basa en una arquitectura monolítica en la que todas las transacciones se hacen a través de un único servidor que sirve de punto de enlace entre dos nodos y que, a la vez, almacena y distribuye los nodos donde se almacenan los contenidos. Poseen una administración muy dinámica y una disposición más permanente de contenido. Sin embargo, está muy limitada en la privacidad de los usuarios y en la falta de escalabilidad de un sólo servidor, además

de ofrecer problemas en puntos únicos de fallo, situaciones legales y enormes costos en el mantenimiento así como el consumo de ancho de banda [30].

El principal problema presentado en este modelo es que el servidor P2P Central es un posible punto de quiebre que pueda atentar contra la estabilidad de la red.

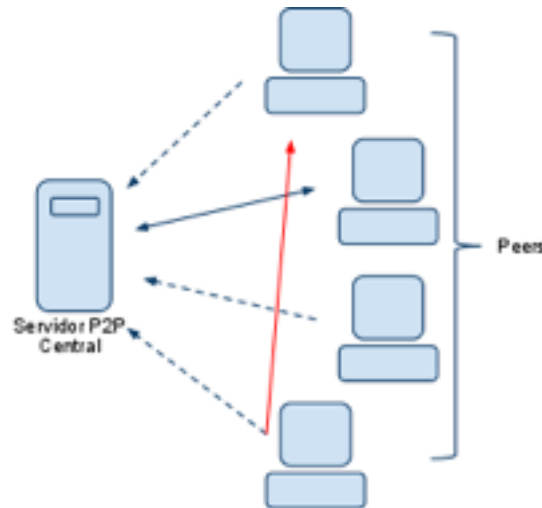


Figura 3: Directorio Centralizado

3.1.2 Directorio Distribuido

Uno de los ejemplos más conocidos de este tipo de redes es Freenet [19]. Las redes P2P de este tipo son las más comunes, siendo las más versátiles al no requerir de un gestionamiento central de ningún tipo, lo que permite una reducción de la necesidad de usar un servidor central, por lo que se opta por los mismos usuarios como nodos de esas conexiones y también como almacenistas de esa información. En otras palabras, todas las comunicaciones son directamente de usuario a usuario con ayuda de un nodo (que es otro usuario) quien permite enlazar esas comunicaciones [30].

3.1.3 Directorio Híbrido

Un ejemplo de este tipo de redes es Gnutella 0.6 [22]. Este tipo de red se encuentra formada por una estructura jerárquica la cual comprende nodos de usuario y ultrapeers. Cuando un nuevo nodo entra al sistema, este se transforma como un nodo usuario quedando en el perímetro de la red, donde éste no posea ninguna responsabilidad de enrutamiento y su única función es la de enviar consultas a los ultrapeers.

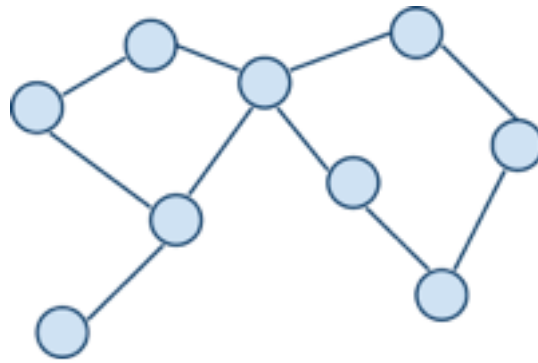


Figura 4: Solución Distribuida

Por otro lado nodos con capacidades más elevadas y con habilidades de procesamiento mejoradas, son promovidos como *ultrapeers*. Éstos son los responsables de realizar enrutamiento y de resolver consultas de los nodos usuario [22].

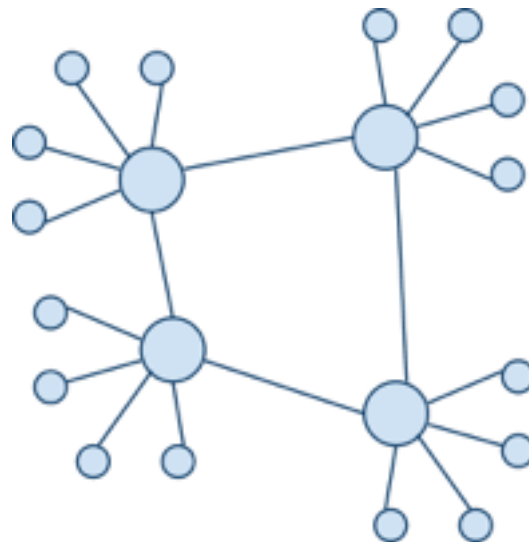


Figura 5: Directorio Híbrido

3.2 MECANISMOS DE BÚSQUEDA EN REDES P2P

Las redes P2P son clasificadas a su vez en: Redes no estructuradas y Redes estructuradas. Algunos han aseverado que éstos algoritmos son alternativas que compiten entre sí [19].

REDES NO ESTRUCTURADAS: Las redes No Estructuradas han sido llamadas redes de "primera generación". Los nodos en estas redes se unen conectándose a través de cualquier otro nodo. En las primeras versiones de Gnutella, ésta se podía clasificar como No Estructurada [19]. En estas redes el costo por enrutamiento debido a difusión o *broadcasting* es muy elevado o también pue-

de ocasionar que hayan fallos encontrando el recurso solicitado.
[19]

REDES ESTRUCTURADAS: Las redes estructuradas tienen importantes ventajas. Proporcionan un mecanismo determinista de localización, de tal forma que se asegura que un recurso será encontrado siempre que esté en la red. Además, los mensajes de búsqueda son encaminados de forma eficiente, de tal forma que el recurso es encontrado en $O(\log n)$ saltos, donde n es el tamaño de la red [30]. Estas redes han sufrido dos críticas principalmente [19]. La primera de ellas es entorno a la transitoriedad de un nodo, que al final afecta qué tan robusto es la red. La otra crítica es debido a que éstas redes no soportan búsquedas por palabra clave ni consultas complejas como los sistemas No Estructurados.

El web caché no es un concepto nuevo. Este tema ya se ha estudiado y también ha sido objeto de numerosos papers, artículos y tesis. Por otro lado el concepto de caché web distribuida es un poco más nuevo pero también suma bastantes proyectos entorno a él.

Como primer acercamiento, es necesario definir el significado de caché web (en ocasiones también llamado proxy) [27]:

"Se llama caché web a la caché que almacena documentos web (es decir, páginas, imágenes, entre otros) para reducir el ancho de banda consumido, la carga de los servidores y el retardo en la descarga. Un caché web almacena copias de los documentos que pasan por él, de forma que subsiguientes peticiones pueden ser respondidas por el propio caché, si se cumplen ciertas condiciones."

En resumen, se podría entender una caché web como una forma de almacenar temporalmente documentos que son concurrentemente solicitado con el fin de reducir el ancho de banda saliente. Por otro lado, la presente investigación se centra en modelos que comparten dinámicamente éstos documentos.

Un concepto muy parecido es el de caché web cooperativo. Según Rowstron A. [20] mediante esta técnica, el almacenamiento dedicado a la caché de una serie de servidores-proxy adyacentes se gestiona conjuntamente como si se tratase de una única cache distribuida. Las políticas de gestión de esta cache se realiza teniendo en cuenta el estado y los contenidos de todos los servidores-proxy que la componen. Por ejemplo, las políticas de reemplazo en la cache cooperativa tendrán en cuenta las estadísticas de acceso en todos los servidores-proxy cooperantes.

El caché web cooperativo permite incrementar considerablemente el tamaño de la caché, pero a costa de reducir la probabilidad de acierto local. Bajo éste esquema, un único servidor-proxy no dispone de los contenidos más populares, provocando un aumento del porcentaje de peticiones que se tienen que servir remotamente desde los otros servidores que componen la cache ó desde el servidor principal.

Basado en la investigación del estado del arte, se han podido identificar proyectos que giran alrededor de la presente tesis. Entre ellos están: CoralCDN [7], Transparent Distributed Web Caching [15], Dalesa [25] y Squirrel [20].

4.1 WEB CACHING MEDIANTE PROXY

4.1.1 *Proxy Simple*

Primero se mostrará el modelo tradicional de cliente-servidor. Bajo este modelo el cliente tiene una conexión directa con el servidor y no existe caché en medio, por lo que en dicha conexión se obtienen los servicios bajo demanda, haciendo uso únicamente del caché local del explorador web.



Figura 6: Conexión Directa

La siguiente figura 7 muestra el típico modelo de proxy, donde existe un servidor central por el cual los clientes transitan y le solicitan el recurso deseado. El servidor proxy descarga el recurso solicitado, lo almacena en su caché y por último lo reenvía al solicitante. Si otro cliente solicitara el mismo recurso, el servidor le respondería con el recurso almacenado localmente (si la caché haya caducado aún).

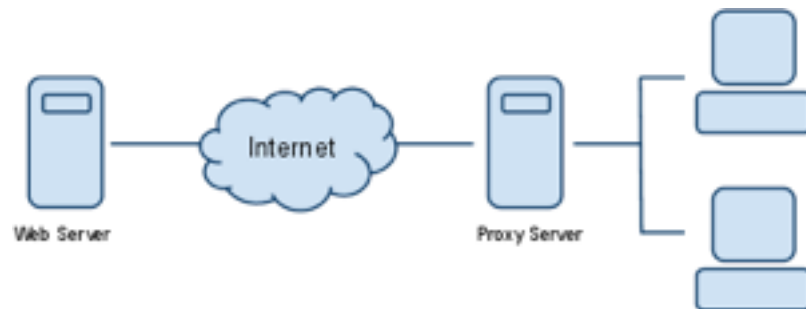


Figura 7: Proxy Simple

4.1.2 *Proxy Jerárquico*

La figura 8 muestra el modelo de proxy jerárquico o también conocido como web caché cooperativo. En este modelo se tienen servidores proxy ubicados de una manera jerárquica en una Red de área local. Cuando un cliente solicita un recurso, éste lo hace a su proxy jerárquicamente más cercano. Si dicho servidor posee los recursos éste se lo reenvía al cliente. En caso que no posee el recurso, el proxy le reenvía la solicitud de su cliente al servidor proxy de nivel superior. Si el servidor de nivel superior posee el recurso lo reenvía al servidor proxy

que solicitó el recurso, éste último se deja una copia en su caché local y reenvía el recurso al cliente original.

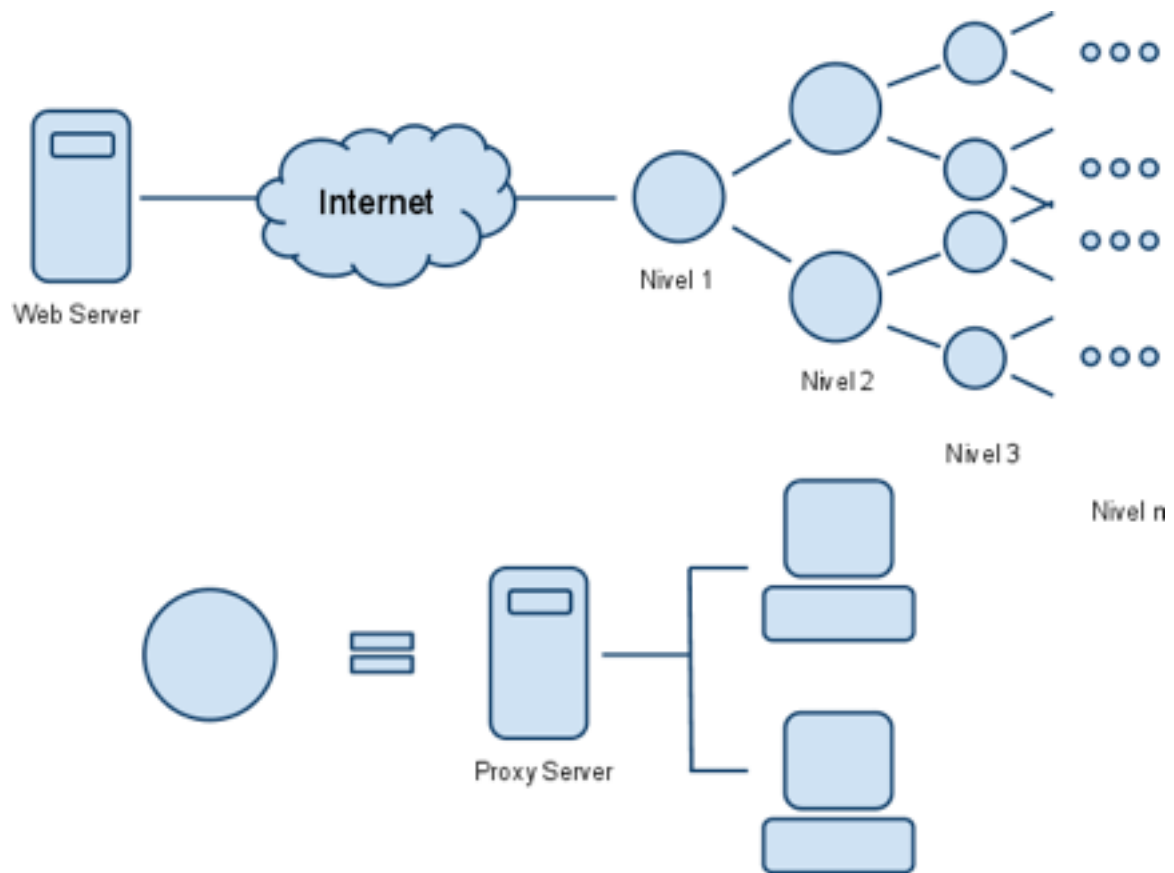


Figura 8: Proxy Jerárquico

4.1.3 Proxy Descentralizado

Bajo este modelo se encuentran los proyectos de Squirrel y Dalesa. Estos proyectos intentan utilizar los conceptos de P2P para implementar y compartir una cache distribuida a través de una LAN. Como se muestra en la figura 9. Cada computadora forma parte del proxy descentralizado, y utilizando un software creado por los respectivos participantes del proyecto, pueden compartir la cache. Este modelo es el que más se acerca al modelo que se propone como tesis aunque todavía dista en ciertas características.

4.2 REDES CDN

Una red de distribución de contenidos es una red de equipos que opera de forma transparente para entregar contenido de sus clientes cumpliendo principalmente alguno de los siguientes objetivos:

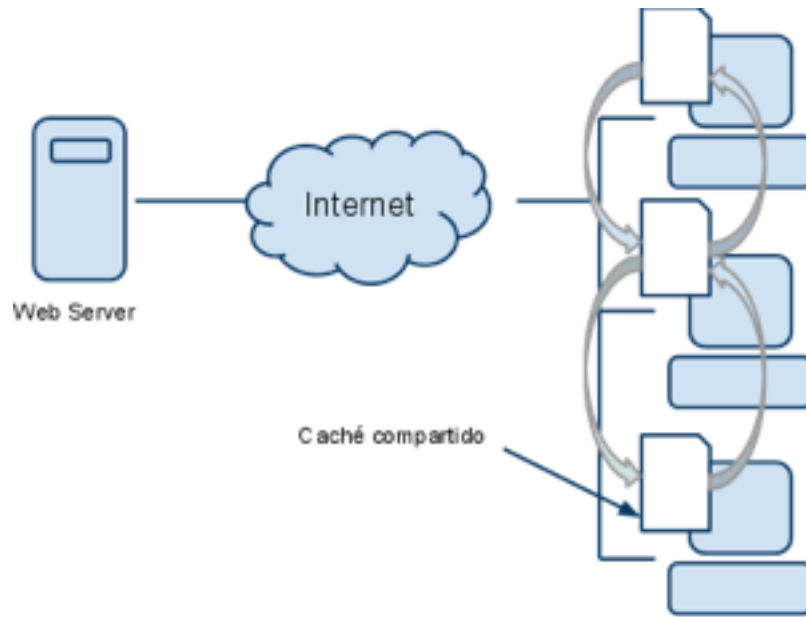


Figura 9: Proxy Descentralizado

1. Escalabilidad
2. Coste
3. Eficiencia

Haciendo una definición más amplia una Red CDN es un sistema de computadoras el cual contiene copias de datos, ubicados en varios puntos de la red para así maximizar el ancho de banda para el acceso de los datos desde los clientes a través de la red. Un cliente accede una copia de los datos, la más cercana, contrario al concepto de que todos los clientes accedan al mismo servidor central provocando un cuello de botella en el servidor [28].

El contenido puede incluir objetos web, objetos descargables (archivos de medios, software, documentos, entre otros), aplicaciones, media streams en tiempo real, y otros componentes.

En la siguiente figura se puede observar el funcionamiento de una Red CDN distribuida a través de Internet.

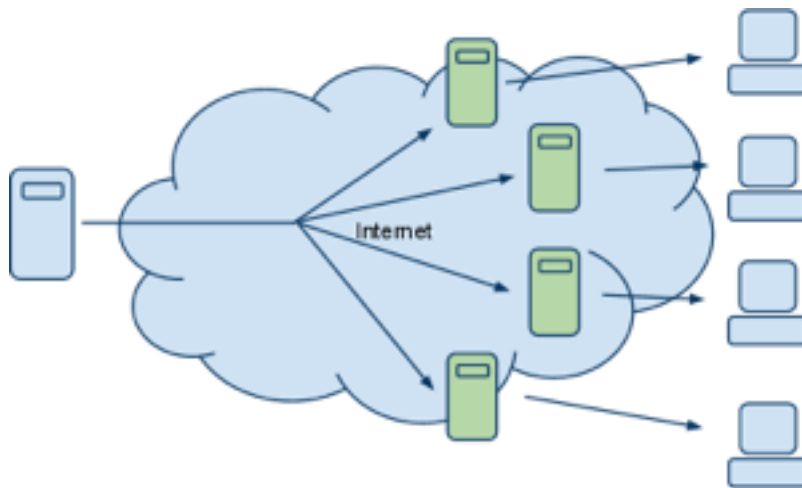


Figura 10: Red CDN

MODELOS DE CONSISTENCIA

Un requerimiento importante en los sistemas distribuidos es la replicación de datos, lo datos por lo general se replican para mejorar fiabilidad y incrementar el rendimiento, uno de los problemas más importantes es, mantener todas las réplicas consistentes, esto quiere decir que cuando una copia se actualiza, necesitamos asegurar que las otras copias se actualizan también.

5.1 RAZONES PARA REPLICAR

1. Los datos se replican para incrementar la fiabilidad del sistema, esto quiere decir que si el sistema ha sido replicado este puede seguir trabajando después de alguno de sus nodos falle, mediante el cambio a uno que si funcione. Al mantener muchas copias es posible proporcionar una mejor protección contra datos corruptos.
2. Los datos se replican para incrementar el rendimiento, es importante cuando un sistema distribuido necesita ser escalado en números y áreas geográficas. En el caso de números, cuando un sistema necesita procesar mucha información, este se escala agregando otro nodo al sistema y replicando los datos, para dividir el trabajo. En el caso de área geográfica se coloca una copia cerca del proceso que lo necesita, para reducir el tiempo de acceso a los datos.

5.2 MODELOS DE CONSISTENCIA SIN SINCRONIZACIÓN

LINEARIZABILITY O CONSISTENCIA ESTRICTA: Según Herlihy M. [10] linearizability es la condición correcta para objetos concurrentes. Las operaciones write que se ejecutan en cualquiera de los sitios de un sistema, se ejecutan simultáneamente en todas las copias de los datos, osea es la condición ideal siempre las copias son coherentes. En pocas palabras es la consistencia más estricta, esta establece que cualquier operación de lectura en el sistema, debe devolver el valor con la última actualización antes de realizar la lectura. Lo cual quiere decir que el tiempo máximo para propagar una actualización al resto de sitios en el sistema es cero.

CONSISTENCIA SECUENCIAL: Es un modelo de consistencia un poco más débil, que la consistencia estricta. Básicamente Lamport [14] lo define mediante:

"El resultado de cualquier ejecución es el mismo que si las operaciones de todos los procesos fueran ejecutadas en algún orden secuencial, y las operaciones de cada proceso individual aparecen en esta secuencia en el orden especificado por su programa".

La consistencia secuencial no garantiza que una operación de lectura devuelva el valor escrito por otro proceso. Lo único que asegura es que todos los sitios vean todas las operaciones en el mismo orden.

CONSISTENCIA CAUSAL: Según Reynal M. [18], en un sistema se da consistencia causal si las escrituras parcialmente relacionadas de forma causal (sobre el mismo objeto concurrente) son vistas por todos los procesos en el mismo orden, las escrituras concurrentes pueden ser vistas en un orden diferente en máquinas diferentes.

Este modelo es aun más débil que la consistencia secuencial [1], la cual requiere que todos sitios vean las escrituras en el mismo orden.

Cuando un sitio realiza una lectura seguida de una escritura, aun en diferentes objetos concurrentes, se dice que la primera operación esta causalmente ordenada antes que la segunda, debido a que el valor almacenado por la escritura puede haber sido dependiente del resultado de la lectura. De manera similar una operación de lectura puede estar causalmente ordenada después de una escritura previa en el mismo objeto concurrente que almacena lo que fue leído. De la misma manera dos operaciones de escritura en el mismo sitio se encuentran causalmente ordenadas en el mismo orden que fueron realizadas.

Si existen operaciones que no están causalmente relacionadas se dice que son concurrentes.

CONSISTENCIA PRAM: Lipton y Sandberg [16] definieron el modelo de consistencia Pipelined RAM (PRAM) y comúnmente conocido como Consistencia FIFO. Este modelo es aun más débil que la consistencia causal, esta consiste en eliminar el requisito de que las operaciones relacionadas se vean en orden por parte de todos los sitios en un sistema. Para esto las escrituras por un sitio son recibidas por otros procesos en el orden en que son realizadas, pero las escrituras de sitios diferentes pueden verse en un orden distinto en sitios diferentes [17].

Este tipo de consistencia es fácil de implementar, ya que no existe garantía del orden en que los diferentes sitios vean las escrituras, más que dos o más escrituras por parte de un proceso

llegan en orden, como si estuvieran entubadas. Remontándonos a la definición de consistencia causal, podemos decir que en consistencia FIFO todas las escrituras y lecturas locales (realizadas en el mismo sitio) están causalmente relacionadas, mientras que todas las que suceden en sitios diferentes son concurrentes [17].

5.3 MODELOS DE CONSISTENCIA CON SINCRONIZACIÓN

CONSISTENCIA DÉBIL: La consistencia débil utiliza variables de sincronización para propagar las escrituras a todo el sistema, mediante esto una operación de escritura en un sitio, tomará un candado el cual evitará que otros puedan leer o escribir hasta que la operación termine y se propague al resto de los sitios que conforman el sistema. A este mecanismo se le llama exclusión mutua.

El modelo tiene las siguientes condiciones [17]:

- Los accesos a las variables de sincronización son secuencialmente consistentes.
- No se permite ingresar a una variable de sincronización hasta que todas las operaciones de escritura hayan terminado en el resto de los sitios.
- No se permite realizar un acceso a los datos (operaciones de lectura y escritura) hasta realizar todos los accesos a las variables de sincronización.

CONSISTENCIA RELEASE: Es muy parecida a la Consistencia Débil [17], lo que hace es dar solución a un problema de rendimientos que tiene ésta. Cuando se accede a una variable de sincronización, el objeto concurrente no sabe si se debe a que el sitio ha terminado de escribir en el objeto concurrente o está a punto de iniciar su lectura. Para una implementación más eficiente que la Consistencia Débil, se crean dos variables de sincronización que diferencien estos casos. Estas operaciones se llaman release y acquire [8], antes de realizar una operación de escritura a un objeto concurrente un sitio debe adquirir el objeto mediante la operación acquire y más tarde liberarlo mediante release.

Para contar con consistencia release se debe cumplir:

- Antes de realizar una operación a un objeto concurrente, deben terminar con éxito todas las adquisiciones anteriores del sitio en cuestión.
- Antes de realizar un release, se deben terminar todas las escrituras y lectura del sitio.
- Los accesos a release y acquire deben de ser consistentes con el procesador.

CONSISTENCIA DE ENTRADA: El modelo de Consistencia de Entrada es aún más débil que el de Consistencia Release [4]. Utiliza las mismas operaciones de sincronización mencionadas anteriormente *acquire* y *release*. La diferencia radica en que requiere que cada objeto concurrente se asocie con alguna variable de sincronización [17], como en un modelo de exclusión *barrier* o *tree*.

La consistencia de entrada debe cumplir [4]:

- No se permite a unos sitios realizar un *acquire* a un objeto concurrente con respecto a un sitio hasta que se realicen todas las actualizaciones de los datos compartidos protegidos con respecto a este sitio.
- Antes de permitir el acceso de modo exclusivo a una variable de sincronización por un sitio, ningún otro sitio debe poseer la variable de sincronización, ni siquiera en modo no exclusivo.
- Después de realizar un acceso en modo exclusivo a una variable de sincronización, no se puede realizar el siguiente acceso en modo no exclusivo de otro sitio a esta variable de sincronización hasta haber sido realizado con respecto al propietario de esa variable.

COMUNIDADES VIRTUALES

6.1 DEFINICIÓN DE UNA COMUNIDAD VIRTUAL

Las Comunidades Virtuales (CV) son lugares en la web donde las personas se pueden encontrar y "hablar" electrónicamente entre sí. Estas comunidades normalmente están rodeadas por intereses comunes. En un inicio las CV actuaban como si fuera una cafetería en lugar de un asunto meramente comercial, aunque éstas eran por naturaleza comerciales, donde las personas realizaban transacciones y comercio [9].

Las nociones de "comunidad" y "virtual", plantean la tentativa de definir una comunidad virtual como "una congregación de cibernautas que integran una comunidad que aparenta ser real al simular los efectos de las congregaciones sociales humanas reales o tradicionales, pero sin llenar todas las características de estas".

Por otro lado, se podría definir CV como: Se denomina comunidad virtual a aquella comunidad cuyos vínculos, interacciones y relaciones tienen lugar no en un espacio físico sino en un espacio virtual como Internet.

6.2 CARACTERÍSTICAS DE UNA COMUNIDAD VIRTUAL

Según Whittaker [26] una comunidad debe por lo menos tener los siguientes atributos esenciales:

1. Los miembros deben de compartir un mismo objetivo, interés, necesidad o actividad que provea una razón primaria para pertenecer a una comunidad.
2. Los miembros deben de estar comprometidos a una participación activa y en ocasiones interacciones intensas, donde se compartan actividades y sentimientos comunes entre los participantes.
3. Los miembros deben tener acceso a los recursos compartidos y además deben de existir políticas para determinar el acceso a éstos recursos.
4. Debe existir una reciprocidad de la información, soporte y servicios entre los miembros.

5. Compartir un contexto, puede ser social, de lenguaje o simples protocolos.

Por otro lado algunos atributos menos necesarios podrían ser [26]:

1. Roles y reputación diferenciada.
2. Conciencia de los límites de los miembros y de la identidad del grupo.
3. Criterio de iniciación.
4. Un historial de participación.
5. Eventos o rituales
6. Un espacio físico compartido
7. Una membresía voluntaria.

6.3 TIPOS DE COMUNIDADES VIRTUALES

A grandes rasgos podemos clasificar las CV en tres grandes categorías: de ocio, profesionales y de aprendizaje [2].

Por otro lado para Armstrong y Hagel [11] existen dos tipos de Comunidades Virtuales: las orientadas a los usuarios y las orientadas a la organización.

ORIENTADAS A LOS USUARIOS: En las orientadas a los usuarios, son ellos los que definen el tema de la Comunidad y se pueden dividir en:

- *Geográficas*: agrupan personas que viven o que están interesadas en intercambiar Información sobre una misma área geográfica.
- *Temáticas*: orientadas a la discusión de un tema de interés para los usuarios.
- *Demográficas*: reúnen usuarios de características demográficas similares.
- *De ocio y entretenimiento*: dirigidas a aquellos cibernautas que ocupan su tiempo libre en juegos en red. Se crean por tipos de juegos como estratégicos, de simulación, etc.
- *Profesionales*: para aquellos expertos en una materia que desarrollan su actividad concreta en un área profesional definida, generalmente asociada a una formación superior. Especialmente en el caso de las profesiones liberales, cuando se trabaja de manera independiente.
- *Gubernamentales*: Los organismos gubernamentales han creado Comunidades Virtuales a las que puede acudir el ciudadano para informarse y/o discutir.

- *Eclécticas*: son aquellas Comunidades Virtuales mixtas, que intentan un poco de todo: zona de ocio, una vía de transmisión y comportamiento cultural, etc.

ORIENTADAS A LA ORGANIZACIÓN: Por el contrario en las orientadas hacia la organización, el tema es definido según los objetivos y áreas de trabajo de la organización donde reside la comunidad, y podemos dividir las en:

- *Verticales*: que aglutinan a usuarios de empresas de diferentes ramas de actividad económica o a organizaciones institucionales.
- *Funcionales*: referidas a un área específica del funcionamiento de la organización, por ejemplo: mercadeo, producción, relaciones públicas.
- *Geográficas*: que se concentran en una zona geográfica cubierta por la organización.

Por el contrario Salinas [21] agrupa las Comunidades Virtuales utilizando un enfoque más pragmático:

DE DISCURSO: El ser humano es la criatura social y puede hablar cara a cara sobre intereses comunes, pero también puede compartir estos intereses con otros semejantes más lejanos mediante los medios de comunicación.

DE PRÁCTICA: Cuando en la vida real alguien necesita aprender algo, normalmente no abandona su situación normal y dedica su esfuerzo en clases convencionales sino que puede formar grupos de trabajo (comunidades de práctica), asigna roles, enseña y apoya a otros y desarrolla identidades que son definidas por los roles que desempeña en el apoyo al grupo.

DE CONSTRUCCIÓN DE CONOCIMIENTO: El objetivo de este tipo de comunidades es apoyar a los estudiantes a perseguir estratégica y activamente el aprendizaje como una meta.

DE APRENDIZAJE: Si una comunidad es una organización social de personas que comparten conocimiento, valores y metas, las clases como las conocemos no son comunidades ya que los estudiantes están desconectados o están compitiendo unos con otros. Las comunidades de aprendizaje surgen cuando los estudiantes comparten intereses comunes. Las TIC pueden contribuir a conectar alumnos de la misma clase o de alrededor del mundo, con el objeto de lograr objetivos comunes.

Una última clasificación realizada por Cabero [2] apoyado en las conclusiones de Salinas [21]. Identifica una serie de grupos en función de:

MODO DE ASIGNACIÓN: Dado el modo de asignación se pueden encontrar:

- Comunidades de asignación libre por parte de los miembros.
- Comunidades de asignación voluntaria.
- Comunidades de asignación obligatoria.

FUNCIÓN PRIMARIA DE LA COMUNIDAD: Las comunidades también se pueden clasificar por su función:

- *Distribución:* Cuando la principal función de la comunidad radica en la distribución de información o mensajes, entre los miembros.
- *Compartir:* Se trata de comunidades donde prima el intercambio de experiencias y recursos.
- *Creación:* Cuando se generan procesos de trabajo colaborativo con el objeto de lograr materiales, documentos, proyectos compartidos.

GESTIÓN DE LA COMUNIDAD: Por otro lado un punto importante que nos puede ayudar a clasificar una CV es el tipo de gestión que se utilice:

- *Abiertas:* Cuando el acceso (independientemente de la asignación) es abierto y los recursos de la comunidad están a disposición tanto de los miembros como de personas ajenas a la comunidad.
- *Cerradas:* Cuando existe algún procedimiento que impide a las personas ajenas a la comunidad el acceso, de tal forma que los recursos, materiales, producciones, histórico, entre otros; sólo son accesibles para los miembros de la comunidad.

EL OBJETO DE LA COMUNIDAD: En la línea de la clasificación descrita anteriormente, las comunidades virtuales de aprendizaje podemos clasificarlas en función del objeto que persiguen, en:

- Comunidades de aprendizaje propiamente dichas, cuando han sido creadas para que el grupo humano que se incorpora a la comunidad desarrolle procesos de aprendizaje en programas diseñados al efecto.
- Comunidades de práctica, ya definidos anteriormente
- Comunidades de investigación, cuando se trata de comunidades que desarrollando actividades de aprendizaje, el objeto principal es poner en marcha proyectos de investigación conjunta de acuerdo con la filosofía del trabajo cooperativo a través de redes.

- Comunidades de innovación. Similares a las anteriores que buscan compartir, intercambiar y generar procesos de innovación en distintos campos.

Parte III

DISEÑO DE LA CWC

En este apartado de la investigación, se describirá el diseño propuesto para el CWC, reuniendo un conjunto de requerimientos basados en los objetivos de la investigación; además se propondrá un modelo que solucione y sea de ayuda para la comprobación de la hipótesis de ésta investigación.

CHAPTER TITLE

7.1 SECTION TITLE

Content

7.1.1 *Subsection Title*

Content

7.1.2 *Subsection Title*

Content

7.2 SECTION TITLE

Content

CHAPTER TITLE

8.1 SECTION TITLE

Content

8.1.1 *Subsection Title*

Content

8.1.2 *Subsection Title*

Content

8.2 SECTION TITLE

Content

Parte IV

ANÁLISIS Y RESULTADOS

En esta sección se mostrará el análisis realizado producto de los datos recolectados a lo largo de la investigación.

CHAPTER TITLE

9.1 SECTION TITLE

Content

9.1.1 *Subsection Title*

Content

9.1.2 *Subsection Title*

Content

9.2 SECTION TITLE

Content

CHAPTER TITLE

10.1 SECTION TITLE

Content

10.1.1 *Subsection Title*

Content

10.1.2 *Subsection Title*

Content

10.2 SECTION TITLE

Content

Parte V

CONCLUSIONES

CHAPTER TITLE

11.1 SECTION TITLE

Content

11.1.1 *Subsection Title*

Content

11.1.2 *Subsection Title*

Content

11.2 SECTION TITLE

Content

Parte VI

APPENDIX

APPENDIX TEST

Aliquam lectus. Vivamus leo. Quisque ornare tellus ullamcorper nulla. Mauris porttitor pharetra tortor. Sed fringilla justo sed mauris. Mauris tellus. Sed non leo. Nullam elementum, magna in cursus sodales, augue est scelerisque sapien, venenatis congue nulla arcu et pede. Ut suscipit enim vel sapien. Donec congue. Maecenas urna mi, suscipit in, placerat ut, vestibulum ut, massa. Fusce ultrices nulla et nisl.

Etiam ac leo a risus tristique nonummy. Donec dignissim tincidunt nulla. Vestibulum rhoncus molestie odio. Sed lobortis, justo et pretium lobortis, mauris turpis condimentum augue, nec ultricies nibh arcu pretium enim. Nunc purus neque, placerat id, imperdiet sed, pellentesque nec, nisl. Vestibulum imperdiet neque non sem accumsan laoreet. In hac habitasse platea dictumst. Etiam condimentum facilisis libero. Suspendisse in elit quis nisl aliquam dapibus. Pellentesque auctor sapien. Sed egestas sapien nec lectus. Pellentesque vel dui vel neque bibendum viverra. Aliquam porttitor nisl nec pede. Proin mattis libero vel turpis. Donec rutrum mauris et libero. Proin euismod porta felis. Nam lobortis, metus quis elementum commodo, nunc lectus elementum mauris, eget vulputate ligula tellus eu neque. Vivamus eu dolor.

A.1 APPENDIX SECTION TEST

Nulla in ipsum. Praesent eros nulla, congue vitae, euismod ut, commodo a, wisi. Pellentesque habitant morbi tristique senectus et netus et malesuada fames ac turpis egestas. Aenean nonummy magna non leo. Sed felis erat, ullamcorper in, dictum non, ultricies ut, lectus. Proin vel arcu a odio lobortis euismod. Vestibulum ante ipsum primis in faucibus orci luctus et ultrices posuere cubilia Curae; Proin ut est. Aliquam odio. Pellentesque massa turpis, cursus eu, euismod nec, tempor congue, nulla. Duis viverra gravida mauris. Cras tincidunt. Curabitur eros ligula, varius ut, pulvinar in, cursus faucibus, augue.

More dummy text

Nulla mattis luctus nulla. Duis commodo velit at leo. Aliquam vulputate magna et leo. Nam vestibulum ullamcorper leo. Vestibulum condimentum rutrum mauris. Donec id mauris. Morbi molestie justo et pede. Vivamus eget turpis sed nisl cursus tempor. Curabitur mollis sapien condimentum nunc. In wisi nisl, malesuada at, dignis-

LABITUR BONORUM PRI NO	QUE VISTA	HUMAN
fastidii ea ius	germano	demonstratea
suscipit instructor	titulo	personas
quaestio philosophia	facto	demonstrated

Tabla 4: Autem usu id.

Listado 1: A floating example

```
1 for i:=maxint to 0 do
  begin
    { do nothing }
  end;
```

sim sit amet, lobortis in, odio. Aenean consequat arcu a ante. Pellentesque porta elit sit amet orci. Etiam at turpis nec elit ultricies imperdiet. Nulla facilisi. In hac habitasse platea dictumst. Suspendisse viverra aliquam risus. Nullam pede justo, molestie nonummy, scelerisque eu, facilisis vel, arcu.

A.2 ANOTHER APPENDIX SECTION TEST

Curabitur tellus magna, porttitor a, commodo a, commodo in, tortor. Donec interdum. Praesent scelerisque. Maecenas posuere sodales odio. Vivamus metus lacus, varius quis, imperdiet quis, rhoncus a, turpis. Etiam ligula arcu, elementum a, venenatis quis, sollicitudin sed, metus. Donec nunc pede, tincidunt in, venenatis vitae, faucibus vel, nibh. Pellentesque wisi. Nullam malesuada. Morbi ut tellus ut pede tincidunt porta. Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit. Etiam congue neque id dolor.

Donec et nisl at wisi luctus bibendum. Nam interdum tellus ac libero. Sed sem justo, laoreet vitae, fringilla at, adipiscing ut, nibh. Maecenas non sem quis tortor eleifend fermentum. Etiam id tortor ac mauris porta vulputate. Integer porta neque vitae massa. Maecenas tempus libero a libero posuere dictum. Vestibulum ante ipsum primis in faucibus orci luctus et ultrices posuere cubilia Curae; Aenean quis mauris sed elit commodo placerat. Class aptent taciti sociosqu ad litora torquent per conubia nostra, per inceptos hymenaeos. Vivamus rhoncus tincidunt libero. Etiam elementum pretium justo. Vivamus est. Morbi a tellus eget pede tristique commodo. Nulla nisl. Vestibulum sed nisl eu sapien cursus rutrum.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] M. Ahamad, J. E. Burns, P.W. Hutto, and G Nieger. Causal memory. TR GIT-CC-93/95, Georgia Institute of Technology, July 1991.
- [2] Julio Cabero Almerana. Comunidades virtuales para el aprendizaje. su utilización en la educación. Technical report, Universidad de Sevilla.
- [3] T. Berners-Lee, R. Fielding, and H. Frystyk. Hypertext Transfer Protocol – HTTP/1.0. RFC 1945 (Informational), May 1996. URL <http://www.ietf.org/rfc/rfc1945.txt>.
- [4] Brain Bershad and Matthew Zekauskas. Midway: Shared memory parallel programming with entry consistency for distributed memory multiprocessors. TR CMU-CS-91-170, Carnegie Mellon University, 1991.
- [5] Fernando Raúl Alfredo Bordinon. Diseño de una plataforma de computación distribuida cooperativa, utilizando servicios de una red compañero a compañero. *Universidad Nacional de La Plata*, 2005.
- [6] R. Fielding, J. Gettys, J. Mogul, H. Frystyk, L. Masinter, P. Leach, and T. Berners-Lee. Hypertext Transfer Protocol – HTTP/1.1. RFC 2616 (Draft Standard), June 1999. URL <http://www.ietf.org/rfc/rfc2616.txt>. Updated by RFCs 2817, 5785, 6266, 6585.
- [7] Michael J. Freedman, Eric Freudenthal, and David Mazières. Democratizing content publication with coral. *New York University*, 2004.
- [8] Kourosh Gharachorloo, Daniel Lenoski, James Laudon, Phillip Gibbons, Anoop Gupta, and John Hennessy. Memory consistency and event ordering in scalable shared-memory multiprocessors. *ISCA '90 Proceedings of the 17th annual international symposium on Computer Architecture*, 18:15–26, 1990.
- [9] Sumeet Gupta and Hee Woon Kim. Virtual community: Concepts, implications, and future research directions. TR SIGEBZ02-1115, National University of Singapore, 2005.
- [10] Maurice P. Herlihy and Jeannette M. Wing. Linearizability: a correctness condition for concurrent objects. Technical report, Carnegie Mellon University.

- [11] John Hagel III and Arthur G. Armstrong. *Net Gain: Expanding Markets Through Virtual Communities*. Harvard Business School Press, 1997.
- [12] ITU. Key ict indicators for developed and developing countries and the world, 2014. URL http://www.itu.int/en/ITU-D/Statistics/Documents/statistics/2014/ITU_Key_2005-2014_ICT_data.xls.
- [13] Donald E. Knuth. Computer Programming as an Art. *Communications of the ACM*, 17(12):667–673, December 1974.
- [14] Leslie Lamport. How to make a multiprocessor computer that correctly executes multiprocess programs. *IEEE Transactions on Computers*, pages 690–691, September 1979.
- [15] Zhengang Liang, Hossam Hassanein, and Patrick Martin. Transparent distributed web caching. *26th Annual IEEE International Conference on Local Computer Networks*, page 225, 2001.
- [16] Richard J. Lipton and Jonathan S. Sandberg. Pram: A scalable shared memory. RR 88-180, Princeton University, Department of Computer Science, 1988.
- [17] David Mosberger. Memory consistency models. TR 93/11, The University of Arizona, 1993.
- [18] Michel Raynal and Andre Schiper. From causal consistency to sequential consistency in shared memory systems. RR 2557, Institut National de Recherche en Informatique et Automatique, 1995.
- [19] J. Risson and T. Moors. Survey of research towards robust peer-to-peer networks, September 2007. URL <https://tools.ietf.org/html/rfc4981>.
- [20] Antony Rowstron, Peter Druschel, and Sitaram Iyer. Squirrel: A decentralized peer-to-peer web cache. *21th ACM Symposium on Principles of Distributed Computing*, 2001.
- [21] Jesus Salinas. Comunidades virtuales y aprendizaje digital. EDUTEC'03, IV Congreso Internacional de Tecnología Educativa y NNNT aplicadas a la Educación, Noviembre 2003.
- [22] Dheeraj Sanghi. Peer-to-peer networks and issues involving them. TR 625, Indian Institute of Technology Kanpur.
- [23] Abraham Silberschatz. *Sistemas Operativos*. Limusa Wiley, 2008.
- [24] Andrew S. Tanenbaum and D Wetherall. *Computer networks*. Pearson Prentice Hall, Boston, 5th ed edition, 2011. ISBN 9780132126953 (alk. paper).

- [25] Wathsala Vithanage, Nuwan Gunaratne, and Nishshanka Sirisena. Dalesa cache: A peer – to – peer web cache. *Lanka Software Foundation*, 2009.
- [26] Steve Whittaker, Ellen Isaacs, and Vicki O'Day. Widening the net: Workshop report on the theory and practice of physical and network communities. Technical report, SIGCHI, 1997.
- [27] Wikipedia. Caché web. http://es.wikipedia.org/wiki/Cach%C3%A9_web, 2013. URL http://es.wikipedia.org/wiki/Cach%C3%A9_web.
- [28] Wikipedia. Content delivery network. http://en.wikipedia.org/wiki/Content_delivery_network, 2013. URL http://en.wikipedia.org/wiki/Content_delivery_network.
- [29] Wikipedia. Network load balancing. http://en.wikipedia.org/wiki/Network_Load_Balancing, 2013. URL http://en.wikipedia.org/wiki/Network_Load_Balancing.
- [30] Wikipedia. P2p. <http://es.wikipedia.org/wiki/P2P>, 2013. URL http://es.wikipedia.org/wiki/P2P#Redes_P2P_centralizadas.

COLOPHON

This document was typeset using the typographical look-and-feel classicthesis developed by André Miede. The style was inspired by Robert Bringhurst's seminal book on typography "*The Elements of Typographic Style*". classicthesis is available for both \LaTeX and \LyX :

<http://code.google.com/p/classicthesis/>

Happy users of classicthesis usually send a real postcard to the author, a collection of postcards received so far is featured here:

<http://postcards.miede.de/>

Final Version as of 30 de octubre de 2014 (classicthesis Version 1.0).

DECLARACIÓN

Put your declaration here.

San José, Costa Rica, Noviembre 2014

Kevin Moraga, 30 de octubre
de 2014