



Casa abierta al tiempo

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA METROPOLITANA**  
**Unidad Iztapalapa**

## **Diseño de estrategias para la mejora del desempeño del protocolo BitTorrent en redes ad hoc**

Idónea comunicación de resultados que presenta

**Ing. Juan Alberto Alcántara Sotelo**

para obtener el grado de

Maestro en Ciencias y Tecnologías de la Información

Asesores: Dra. Elizabeth Pérez Cortés y Dr. Miguel López Guerrero

Sinodales:

Presidente: Dr. Javier Gómez Castellanos

Secretario: Dra. Elizabeth Pérez Cortés

Vocal: Dr. Michael Pascoe Chalke

Vocal: Dr. Óscar Arana Hernández

Ciudad de México, mayo 2022

La humanidad necesita hombres prácticos, que obtienen el mayor provecho de su trabajo, y, sin olvidar el interés general, salvaguardan sus propios intereses. Pero la humanidad también necesita soñadores, para quienes el desarrollo de una tarea sea tan cautivante que les resulte imposible dedicar su atención a su propio beneficio.

Marie Curie

# Agradecimientos

Quiero agradecer en principio a Dios por darme tantas oportunidades en la vida, a mis padres, María Isabel Sotelo y Ubaldo Emilio Alcántara Pacheco ya que sin ellos no sería nada. Gracias a mi compañera de vida Paullette Ruíz Vázquez por su cariño, apoyo incondicional y ayuda para hacerme un mejor profesional y una mejor persona. Agradezco también a Jaime Caballero López, Fernando Acosta Barbosa, Braulio Cusi Lara y a Javier Negrete por enseñarme con tanta paciencia lo que saben y por tener para mí siempre una sonrisa y apoyo.

Agradezco al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) por haber financiado este proyecto de investigación.

Agradecimiento sincero y con mucha admiración a mis asesores la Dra. Elizabeth Pérez Cortés y el Dr. Miguel López Guerrero, por su tiempo, su paciencia, su profesional compromiso y las observaciones que han realizado a lo largo de este proyecto.



# Resumen

En los últimos años los dispositivos inalámbricos han tenido una gran aceptación entre los usuarios, se pueden conectar a la red en prácticamente cualquier lugar donde exista una infraestructura y es muy cómodo transportarlos. Estos dispositivos cuentan con una característica importante que no ha sido aprovechada al máximo, el poder comunicarse entre ellos sin la necesidad de utilizar ninguna infraestructura, formando así redes de tipo ad hoc. Este tipo de red es útil en zonas montañosas o de poco avance tecnológico donde no existe ninguna cobertura de telecomunicaciones.

En una red ad hoc la comunicación entre los dispositivos que la conforman puede ser para varios fines, en el contexto de este proyecto de investigación el objetivo es distribuir contenido digital. Para lograrlo es necesario un protocolo que haya demostrado tener un buen desempeño para este propósito. BitTorrent está basado en el paradigma par a par (P2P) y ha tenido éxito en la distribución de contenido digital en las redes cableadas pero al utilizarlo en ad hoc se obtiene un desempeño pobre debido a las características naturales de la red.

Después de analizar los trabajos de investigación en los que se realizaron esfuerzos para adaptar el protocolo mencionado a las redes ad hoc, se observó que en ninguno de ellos se habían estudiado los valores adecuados para este entorno de tres parámetros esenciales en BitTorrent. Así, en este trabajo se realizó un estudio paramétrico para identificar la configuración que permite a BitTorrent tener un mejor rendimiento en un entorno ad hoc. La evaluación de las distintas configuraciones se realizó mediante simulación por eventos discretos.

Tomando como base los resultados obtenidos en este trabajo de investigación se demuestra que es posible obtener una mejora con respecto del protocolo original ya que se encontró una configuración en la cual el protocolo BitTorrent, en el mejor de los casos, tiene un 24.4% de mejoría con respecto al original.



# Índice general

<b>Agradecimientos</b>	<b>I</b>
<b>Resumen</b>	<b>III</b>
<b>1. Introducción</b>	<b>1</b>
1.1. Objetivos del proyecto . . . . .	2
1.1.1. Objetivo general . . . . .	2
1.1.2. Objetivos específicos . . . . .	2
1.2. Método de investigación . . . . .	2
1.3. Aportes . . . . .	3
1.4. Estructura del documento . . . . .	3
<b>2. Marco conceptual</b>	<b>5</b>
2.1. Paradigma P2P . . . . .	5
2.2. BitTorrent: Distribución de contenido P2P . . . . .	6
2.3. Redes Ad hoc . . . . .	10
2.3.1. Ventajas de las redes ad hoc para la distribución de contenido . . . . .	10
2.3.2. Desventajas de la redes Ad hoc para la distribución de contenido . . . . .	11
2.3.3. Retos de la distribución de contenido sobre redes ad hoc	12
<b>3. Adaptaciones de BitTorrent en redes ad hoc</b>	<b>13</b>
3.1. Proyectos que adaptan BitTorrent en redes ad hoc . . . . .	14
3.2. Estrategias de selección de pares . . . . .	15
3.3. Estrategias de elección de pieza . . . . .	18
3.4. Discusión . . . . .	19
<b>4. Estudio paramétrico</b>	<b>21</b>
4.1. Parámetros a estudiar . . . . .	21
4.2. Plataforma de evaluación: OMNET, INET y EbitSim . . . . .	22

4.3.	Configuración de las simulaciones . . . . .	23
4.4.	Medidas de desempeño . . . . .	24
4.4.1.	Evolución del porcentaje de descargas con respecto al tiempo . . . . .	24
4.4.2.	Tiempo promedio de descarga . . . . .	25
4.5.	Resultados . . . . .	25
4.5.1.	Experimentos variando el número de pares a desahogar . . . . .	26
4.5.2.	Experimentos variando el tiempo entre desahogos . . . . .	30
4.5.3.	Experimentos variando el tamaño de la pieza . . . . .	33
4.6.	Discusión . . . . .	37
<b>5.</b>	<b>Evaluación paramétrica de BitTorrent variando más de un parámetro</b> . . . . .	<b>39</b>
5.1.	Evaluación de BitTorrent con la nueva configuración . . . . .	39
5.2.	Análisis del protocolo BitTorrent variando el valor de dos parámetros . . . . .	43
<b>6.</b>	<b>Conclusiones y perspectivas de investigación</b> . . . . .	<b>49</b>
	<b>Referencias</b> . . . . .	<b>51</b>

# Capítulo 1

## Introducción

Una característica de los dispositivos inalámbricos que resulta ser interesante, ya que este modo comúnmente no se utiliza, es la capacidad de poder comunicarse entre ellos, sin la necesidad de utilizar alguna infraestructura ya establecida, formando así redes *ad hoc*. Este tipo de redes resultan ser de gran utilidad en momentos de desastres naturales, zonas montañosas o donde no exista la cobertura de ninguna infraestructura de comunicaciones.

La distribución de contenido digital, como son imágenes, videos, música, documentos, etc., es una aplicación que incentivaría el uso de las redes *ad hoc*. Otro ejemplo de aplicación se muestra en entornos militares y de misión crítica donde los recursos son limitados.

En la actualidad el protocolo usado para la distribución de contenido digital que ha tenido una gran popularidad es BitTorrent el cual está basado en el paradigma *P2P*. Las redes *ad hoc* y el paradigma *P2P* parecen estar hechos para convivir ya que tienen características similares, las primeras trabajan en la capa de red y el segundo se implementa en la capa de aplicación de la pila de protocolos del modelo *OSI*. En ambos tipos de redes cada uno de los participantes brindan para el bien común sus capacidades y recursos formando así sistemas escalables. Al ingresar un nuevo participante, la red se hace más rica solucionando un problema que tienen arquitecturas como cliente-servidor en donde, en algún momento, el sistema puede verse superado.

Los primeros intentos para migrar BitTorrent hacia redes *ad hoc* resultaron en un desempeño muy pobre. La comunidad científica ha trabajado en adaptaciones del protocolo que lo dirijan a tener un buen desempeño, aunque ninguna de ellas ha tenido éxito puesto que no ha sido adoptada en aplicaciones reales.

Al analizar el estado del arte se observó que en ningún trabajo se modificaron los valores de tres parámetros que son fundamentales en el desempeño del protocolo BitTorrent, los cuales son: a) la cantidad de dispositivos a los que

se les está proporcionando parte del contenido digital; b) el tiempo durante el cual son atendidos, y c) el tamaño de los fragmentos que se distribuyen.

Este trabajo de investigación tiene como objetivo estudiar el impacto en el desempeño del protocolo BitTorrent operando en redes ad hoc al realizar una variación en los valores de los parámetros descritos anteriormente, con el fin de encontrar configuraciones adecuadas con las que se obtenga el mejor desempeño al utilizarlas en BitTorrent.

## **1.1. Objetivos del proyecto**

### **1.1.1. Objetivo general**

Mejorar el desempeño de BitTorrent operando en una red ad hoc utilizada para distribuir contenido digital entre los dispositivos que la conforman.

### **1.1.2. Objetivos específicos**

1. Identificar y clasificar las estrategias utilizadas en las adaptaciones del protocolo BitTorrent al entorno ad hoc.
2. Identificar los parámetros relevantes del protocolo y evaluar su efecto en el desempeño.
3. Diseñar y evaluar una propuesta de configuración que, aprovechando las particularidades del medio inalámbrico, mejore el desempeño de BitTorrent.

## **1.2. Método de investigación**

El método de investigación se describe mediante los siguientes pasos:

1. Análisis de la literatura con el objetivo de estudiar las estrategias utilizadas para adaptar el protocolo BitTorrent a redes ad hoc.
2. Identificar los parámetros relevantes del protocolo BitTorrent.
3. Selección y aprendizaje de una herramienta de simulación.
4. Diseñar e implementar el marco de evaluación y las medidas de desempeño.
5. Planteamiento de los escenarios de evaluación de los protocolos.

6. Planeación de los experimentos con el protocolo BitTorrent realizando variaciones en los valores de los parámetros antes descritos.
7. Ejecución de los experimentos.
8. Análisis de los resultados obtenidos.
9. Comunicación de los resultados obtenidos.

### 1.3. Aportes

A continuación se enlistan los principales aportes al conocimiento del tema que se realizan con este trabajo:

1. Estudio del efecto de cambiar los valores originales en los siguientes parámetros: a) número de dispositivos a los que se les proporciona parte del contenido digital; b) tiempo durante el cual se les atiende; y c) el tamaño del fragmento que intercambian.
2. Propuesta de los valores adecuados para los parámetros del protocolo que logran el mejor desempeño en los escenarios propuestos.

### 1.4. Estructura del documento

El resto del documento está organizado de la siguiente manera. En el capítulo 2 se presenta el marco conceptual con el paradigma *peer to peer*, el protocolo BitTorrent y las redes ad hoc así como las ventajas y desventajas de este tipo de redes en la distribución de contenido y los retos a los que se enfrenta. En el capítulo 3 se presentan las adaptaciones de BitTorrent al entorno ad hoc enfocados en las estrategias fundamentales del protocolo. Se finaliza este capítulo con una breve discusión y la descripción del nicho de oportunidad. En el capítulo 4 se presentan los parámetros a estudiar, la plataforma de evaluación, la configuración de las simulaciones, las medidas de desempeño y los resultados del estudio. En el capítulo 5 se realiza un nuevo estudio variando solamente dos de los tres parámetros llegando así a una configuración del protocolo BitTorrent con un buen desempeño en redes ad hoc. Por último, en el capítulo 6 se presentan las conclusiones y el trabajo a futuro.



# Capítulo 2

## Marco conceptual

En este capítulo se presentan los conceptos fundamentales para comprender las adaptaciones hechas al protocolo BitTorrent, con el objetivo de distribuir contenido digital en una red ad hoc.

En la sección 2.1 se muestra el paradigma P2P que es ampliamente utilizado para la distribución de contenido digital. Posteriormente en la sección 2.2 se presenta el protocolo BitTorrent. Por último, en la sección 2.3, se define una red ad hoc así como las ventajas, desventajas y retos que surgen al adaptar el protocolo BitTorrent a este tipo de red.

### 2.1. Paradigma P2P

En la mayoría de los casos cuando descargamos algún contenido desde Internet se utiliza la arquitectura cliente-servidor. Si un cliente está interesado en descargar contenido multimedia, éste se comunica con un servidor para realizarle la petición y este último le responde con el contenido solicitado. Existen varios problemas con este tipo de arquitectura como el tener un punto único de falla, es decir, si el servidor deja de funcionar, el servicio ya no se proporcionará. Por otro lado, también ocurre que la capacidad de atención del sistema puede verse superada ante una gran cantidad de usuarios. En la figura 2.1 se muestra, a grandes rasgos, el modelo cliente-servidor.

Por otro lado, existe un paradigma llamado *peer-to-peer* (*P2P*) el cual no tiene las desventajas del modelo cliente-servidor. En P2P cada uno de los participantes, también llamados pares, tiene las mismas funciones, es decir comparte sus recursos para un fin común y ninguno tiene un rol especial. El contenido digital es dividido en fragmentos que los pares interesados pueden descargar y posteriormente compartir.

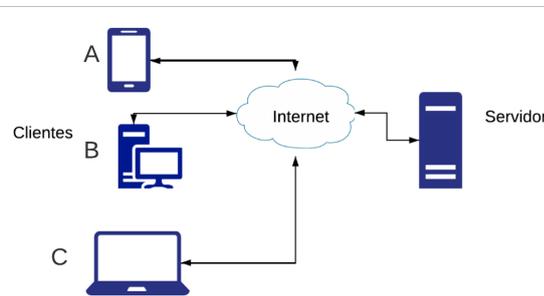


Figura 2.1: Modelo cliente-servidor. Tres dispositivos (clientes A, B y C) desean descargar un recurso del servidor.

## 2.2. BitTorrent: Distribución de contenido P2P

El protocolo BitTorrent [1] fue desarrollado por Bram Cohen en 2003. Este protocolo está basado en el paradigma P2P utilizado para la compartición de contenido en la Internet y consta de tres fases, las cuales se enlistan y describen a continuación:

1. Publicación de contenido.
2. Localización de proveedores.
3. Descarga de contenido.

### Publicación de contenido

En esta primera fase, la cual se ilustra en la figura 2.2, una semilla (un par que tiene el contenido digital completo) crea un archivo .torrent y lo publica en un servidor. Los datos más importantes que contiene el archivo .torrent se muestran a continuación:

- Tamaño total del contenido
- Número de piezas: una característica en BitTorrent es que el contenido digital es dividido en piezas, siendo esta la unidad de intercambio.
- Ubicación del rastreador: el rastreador es un nodo que tiene registrados a los dispositivos que están participando activamente en la descarga del contenido.

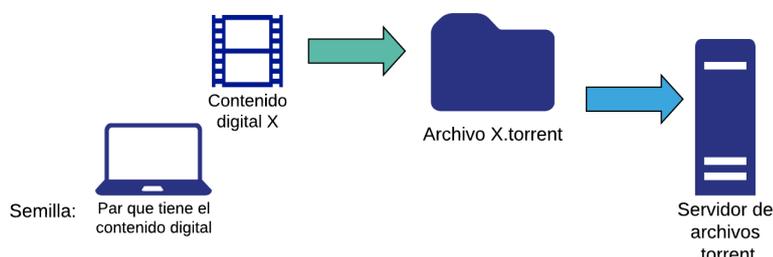


Figura 2.2: Creación y publicación del archivo .torrent

### Localización de proveedores y descarga de contenido

Cuando un nodo está interesado en el contenido X realiza la petición del archivo X.torrent al servidor (ver paso 1 en la figura 2.3) y lo descarga (paso 2). Al tener la dirección del rastreador se comunica con él (paso 3) para recibir la lista de 50 pares, seleccionados aleatoriamente, que están participando activamente en la descarga (paso 4). Ahora el par se comunica directamente con algunos de los pares que se encuentran en la lista recibida y comienza el protocolo de descarga de contenido descrito a continuación.

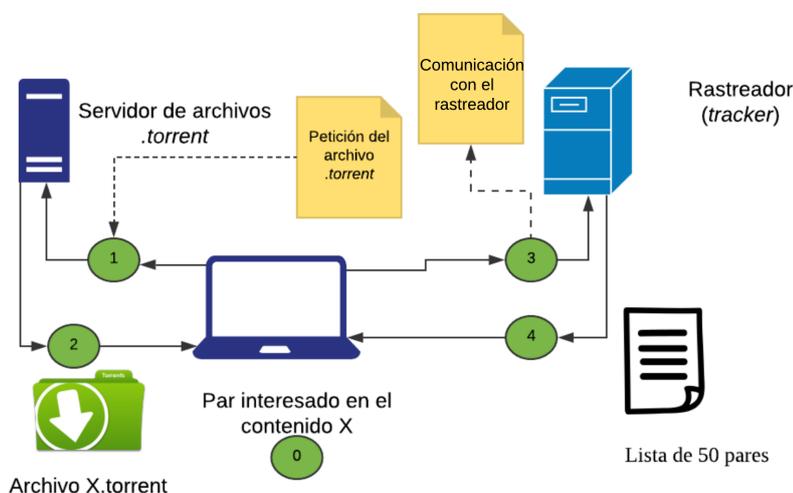


Figura 2.3: Pasos de BitTorrent para la localización de proveedores. Imagen inspirada en [2]

El proceso de descarga se ilustra en la figura 2.4. Supongamos que el par A quiere descargar contenido del par B (este par estaba en la lista que proporcionó el rastreador). El par A establece una conexión con el par B (ver paso 1). A todos los pares con los que se logra realizar una conexión

exitosa se les denomina pares vecinos. El par B le envía al par A una lista de las piezas que tiene del contenido solicitado (paso 2). El par A revisa la lista de las piezas del par B y si está interesado en alguna de ellas, envía un mensaje mostrando su interés (paso 3). El par B revisa todos los pares que están interesados en su contenido y aplica la estrategia de selección de pares que se describirá a continuación. Si el par A fue seleccionado mediante la estrategia, se le envía un mensaje de selección (paso 4). El par A selecciona alguna pieza del par B siguiendo la estrategia de selección de piezas descrita en la siguiente sección (paso 5) y le envía el mensaje de la petición al par B (paso 6). Inmediatamente después el par B le envía la pieza al par A (paso 7).

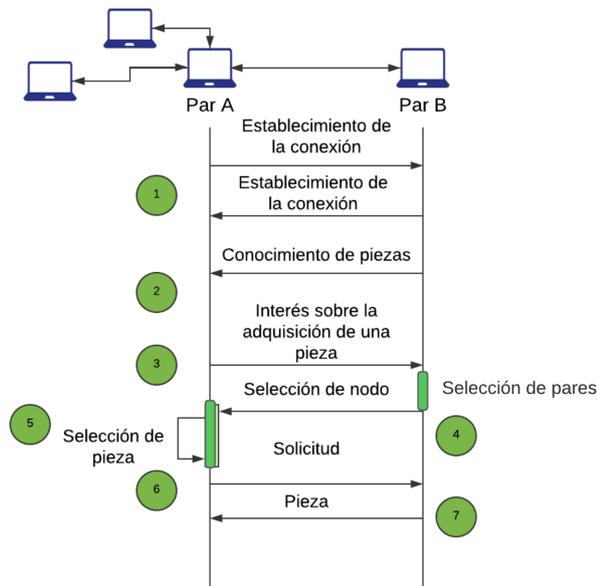


Figura 2.4: Pasos de BitTorrent para la descarga de contenido. Imagen inspirada en [2]

### Estrategia de selección de pares

Cuando un par, digamos el par A, está interesado en descargar piezas del par B, este último debe de tomar la decisión de proporcionarlas o no. Este lo determina considerando a todos los pares que están interesados en descargar su contenido y selecciona a los tres con mayor tasa de transmisión y un cuarto al azar (*optimistic unchoke*). Con la selección de este cuarto par, se fomenta el beneficio de los pares que aún no tienen piezas de ese contenido para compartir. Cuando a un par se le están proporcionando piezas, se dice

que está desahogado. Pasados 30 segundos el conjunto de los tres pares se vuelve a seleccionar, mientras que la elección del par elegido al azar cambia cada 10 segundos. En la figura 2.5 se ilustra la estrategia de selección de pares. En el ejemplo los nodos con la mejor tasa de transmisión son 2, 4 y 5 y el nodo al azar, en este caso, es el nodo 3.

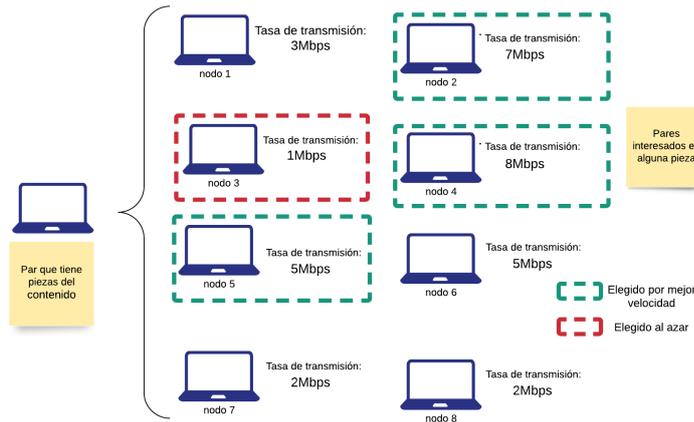


Figura 2.5: Estrategia de selección de pares. Imagen inspirada en [2]

### Estrategia de selección de pieza

La estrategia utilizada para decidir qué pieza se descargará primero está basada en determinar cual es la pieza menos frecuente en el vecindario. Esta estrategia tiene como objetivo que las piezas se distribuyan de manera uniforme y que la descarga no se estanque por la falta de alguna de ellas. La estrategia de selección de pieza, se ilustra en la figura 2.6. Sean A, B, C y D cuatro pares de una red P2P. Si D está interesado en un contenido y los pares A, B y C decidieron desahogar al par D, el cual hace un recuento de las piezas que tienen los pares A, B y C. La pieza elegida es la número 3. Ya que, como se muestra en la figura, esta última es la menos frecuente en el vecindario pues solo el par B la tiene, mientras que entre los demás pares, es decir A y C, hay más de una copia disponible de las otras piezas.

### Mecanismo de fin de juego (*endgame mode*)

Cuando un par está por finalizar la descarga del contenido, solicita a todos los pares vecinos las piezas que aún no tiene y comienza un mecanismo llamado fin de juego. Los pares que tengan alguna de las piezas solicitadas responderán. Existe la posibilidad de que varios pares envíen la misma pieza,

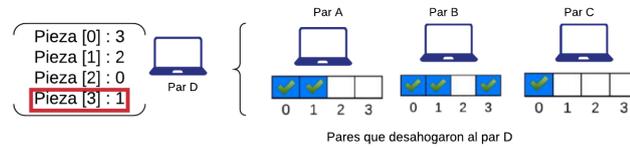


Figura 2.6: Estrategia de selección de pieza menos frecuente en el vecindario. Imagen inspirada en [2]

para evitar envíos redundantes cuando se recibe una de ellas, se envía un mensaje *cancel* para anular las peticiones pendientes de la pieza recibida.

## 2.3. Redes Ad hoc

Una red *ad hoc* es una red compuesta por dispositivos conectados de forma inalámbrica. Este tipo de redes tienen propiedades de autoconfiguración, es decir, no se requiere de ningún nodo especializado que organice la red. Por otro lado, cada uno de los nodos puede asumir funciones de encaminamiento o ser la fuente o el destino de los datos. La representación conceptual de una red ad hoc se observa en la figura 2.7.

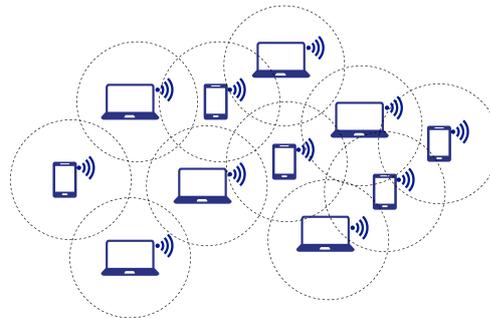


Figura 2.7: Representación conceptual de redes ad hoc. Se muestran varios dispositivos con su respectivo alcance de comunicación (círculo punteado).

### 2.3.1. Ventajas de las redes ad hoc para la distribución de contenido

A continuación se presentan las características de las redes ad hoc que se podrían aprovechar para la distribución de contenido:

- Propagación de la señal en forma omnidireccional: los dispositivos inalámbricos que pertenecen a una red ad hoc idealmente pueden radiar la señal en todas direcciones dentro de un radio dado, aumentando la posibilidad de que más nodos se comuniquen.
- Arquitectura descentralizada: las redes ad hoc operan de forma descentralizada, es decir, sin ningún nodo especial para organizar la comunicación. Cuando un nodo abandona la red, algún nodo que forme parte de la red podría sustituirlo y realizar las mismas funciones, esta característica es importante para que la transferencia de datos se mantenga.
- Compartición de las capacidades de los dispositivos: cada dispositivo comparte sus recursos de comunicación, almacenamiento y procesamiento con otros para lograr la comunicación. Cada nodo puede adoptar funciones de encaminador o ser la fuente de los datos.

### 2.3.2. Desventajas de la redes Ad hoc para la distribución de contenido

A continuación se presentan las desventajas de las redes ad hoc que generan problemas en la distribución de contenido:

- Agotamiento de la energía: los participantes en una red ad hoc son dispositivos inalámbricos por lo que se tiene la desventaja del agotamiento de la carga de sus baterías. Este problema ocasiona la salida de los nodos de la red y, en consecuencia, la pérdida de rutas de comunicación.
- Enlaces limitados al ancho de banda: la capacidad del canal inalámbrico generalmente es menor que en redes cableadas, lo que puede llevar a situaciones de congestión.
- Frecuentemente, las comunicaciones inalámbricas no pueden realizarse en modo bidireccional simultáneo, es decir, en modo *full duplex*, ya que, por lo regular, se usa la misma antena para transmitir y recibir información. Se debe tomar en cuenta esta característica intrínseca de las comunicaciones inalámbricas si el protocolo requiere la transmisión y recepción simultánea de información entre los pares.

### 2.3.3. Retos de la distribución de contenido sobre redes ad hoc

Aunque parece que utilizar BitTorrent en redes ad hoc es una buena opción, no se puede utilizar directamente por las siguientes razones:

- Particiones de red: las particiones de red son un problema importante en el desempeño del protocolo BitTorrent operando en redes ad hoc. Imaginemos que existe una red que se parte en dos formando la subred  $N_1$  y la subred  $N_2$ , si el par que tiene todas las piezas se quedó en la subred  $N_1$  y el par que desea descargar el contenido se encuentra en la subred  $N_2$ , entonces la descarga se estancaría porque la comunicación se habría interrumpido.
- Las rutas largas son más difíciles de mantener en comparación con rutas cortas por las características naturales de las redes ad hoc. Es más eficiente tener rutas cortas cuando se está distribuyendo contenido, en las rutas largas existe una mayor probabilidad de fallas en los enlaces [5], si una ruta desaparece la comunicación entre los nodos no se realiza.

A pesar de las desventajas, el protocolo BitTorrent es un buen candidato para utilizarlo en redes ad hoc. Este trabajo de investigación se enfoca en estudiar el desempeño del protocolo BitTorrent cambiando el valor de tres parámetros fundamentales: tamaño de la pieza intercambiada, tiempo de desahogo de los pares interesados y cantidad de pares desahogados. En la siguiente sección se estudian las adaptaciones que la comunidad científica ha realizado con el objetivo de utilizar el protocolo BitTorrent en redes ad hoc.

## Capítulo 3

# Adaptaciones de BitTorrent en redes ad hoc

De todos los protocolos de distribución de contenido basados en el paradigma P2P, BitTorrent es el que tiene características que lo hacen un buen candidato para utilizarse en redes ad hoc [3]. Por ejemplo, la construcción de la red lógica se hace bajo demanda, es decir, cuando un par quiere descargar algún contenido es entonces cuando se forma la red y ésta es mantenida durante la descarga, así se reducen los costos de mantener la red desde el principio [3]. Otra característica importante es que tan pronto como un par posea una pieza del contenido, éste será capaz de proporcionarla a algún otro par interesado.

Al utilizar el protocolo BitTorrent sin ninguna modificación en redes ad hoc se obtienen resultados muy pobres. En este capítulo se presenta un breve resumen de todos los trabajos que han realizado adaptaciones al protocolo BitTorrent con el objetivo de mejorar su desempeño en este tipo de red.

En la sección 3.1 se presentan los proyectos que la comunidad científica ha generado con el fin de adaptar el protocolo BitTorrent a redes ad hoc. En la sección 3.2 se presentan las modificaciones que los trabajos estudiados realizaron a la estrategia de selección de pares a desahogar, mientras que en la sección 3.3 se muestran las adaptaciones enfocadas en la estrategia de selección de pieza. Finalmente, en la sección 3.4, se presenta una discusión de los puntos más relevantes encontrados durante la revisión del estado del conocimiento en este tema y se identifican los aspectos no abordados por dichas propuestas, lo cual crea el nicho de oportunidad de este trabajo.

### 3.1. Proyectos que adaptan BitTorrent en redes ad hoc

BitTorrent fue propuesto en el año 2003 y tres años después se presentó la primera adaptación al entorno inalámbrico. En esta sección se analiza el protocolo original y los proyectos que a lo largo del tiempo han realizado diferentes cambios a este con el objetivo de adaptarlo a redes ad hoc.

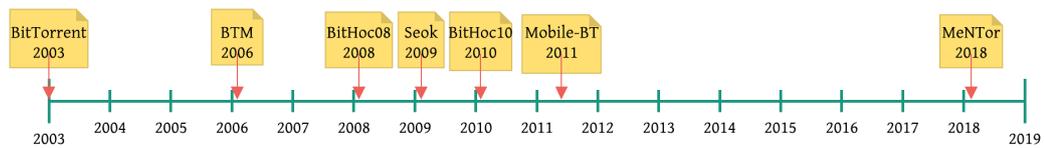


Figura 3.1: Proyectos para adaptar BitTorrent a redes MANET

Sundaram Rajagopalan *et al.* [3] describen cómo solucionar el problema de la centralización del rastreador eliminándolo y añadiendo en cada uno de los nodos una memoria caché (*torrent caché* y *par caché*). La memoria *torrent caché* se encarga de guardar la información del archivo *.torrent*, mientras que la memoria *par caché* guarda los pares que están participando en la descarga. Si en la memoria *par caché* no hay pares disponibles para contactar, entonces se le brindan instrucciones al protocolo de encaminamiento para lanzar mensajes, estos se transmiten a todos los nodos situados en el radio de transmisión (llamados vecinos) y si alguno de ellos es un par, responde al que le envió el mensaje por primera vez. Cabe mencionar que en esta propuesta no todos los nodos están interesados en el contenido. La propuesta de los autores para el problema de las particiones de red es mediante el siguiente método: si un nodo cumple con cierta función *hash*, este se convierte en semilla copiando el archivo completo de la semilla inicial, generando así redundancia en los datos.

Sbai *et al.* [4] describen cómo solucionar el problema del rastreador con el objetivo de no tener centralización. Para descubrir nuevos pares se inunda la red con mensajes que serán contestados solo por aquellos que tienen parte del contenido. De igual manera que en el trabajo anterior, no todos los pares están interesados en la descarga. El problema de las rutas inestables se soluciona con piezas de tamaño pequeño y limitando el alcance del vecindario usando las estrategias de selección de pieza y de pares a desahogar descritas en la sección anterior.

Sbai *et al.* [5] proponen eliminar el problema de la ruptura del enlace

siguiendo la premisa que los pares deben de centrar su esfuerzo en proveer piezas a sus vecinos que se encuentran a un salto, logrando así la diversidad de las piezas. El término diversidad se refiere a que en el vecindario existan diferentes piezas disponibles.

Seok *et al.* [6] proponen tomar en cuenta problemas de red como congestión y ancho de banda de los enlaces para la elección de los pares a desahogar.

M. Rethfeldt *et al.* [10] implementan MeNTor el cual toma en cuenta información de la ruta considerando que la más corta no siempre es la mejor, esto lo hacen calculando el tiempo necesario para transmitir una trama a través de un enlace específico al considerar los parámetros tecnológicos de la capa física y el medio inalámbrico. En la etapa de descarga de contenido las estrategias que son parte fundamental del éxito o del fracaso del protocolo son dos, la elección de pieza y la elección de pares a desahogar. A continuación se describen los proyectos listados anteriormente, haciendo énfasis en cada una de estas dos estrategias.

## 3.2. Estrategias de selección de pares

Sundaram Rajagopalan *et al.*[3] presentan el protocolo BTM, en el que la elección de pares a desahogar es exactamente igual que en el protocolo BitTorrent original.

Sbai *et al.* [4] proponen que cada par tenga una tabla de vecinos cercanos *Nearby Neighbors Table (NNT)* y una tabla de vecinos lejanos *Far Neighbors Table (FNT)*. Los vecinos que se encuentran en la tabla NNT son aquellos que se ubican a dos saltos o menos, mientras que los que están a más de dos saltos estarán en la tabla FNT. Cuando el algoritmo de desahogo es ejecutado se seleccionan los tres pares con la mejor tasa de subida, estos pares son obtenidos tanto de la tabla NNT como de la tabla FNT, y son atendidos por un periodo determinado de tiempo. Además de los tres pares, se desahoga uno más de alguna de la dos tablas (*optimistic slot*), esto con el objetivo de mejorar la diversidad. La estrategia que sigue *optimistic slot* es seleccionar un cuarto par de la siguiente forma: en una ranura de tiempo este par se elige de la tabla FNT y en las siguientes  $q$  ranuras se selecciona de la tabla NNT. Al hacer esto la atención se centra en los vecinos cercanos. Si este par a desahogar se encuentra en la tabla NNT, es elegido de manera aleatoria, mientras que cuando es momento de seleccionar un par de la tabla FNT la estrategia es desahogar al par más lejano, es decir se incrementa linealmente la probabilidad de seleccionar un par conforme aumenta el número de saltos que lo separan del transmisor.

Seok *et al.* [6] proponen que cada par tenga una tabla donde, para cada

uno de los vecinos se encuentre información del número de saltos, el ancho de banda y el costo para llegar a él. El costo de ir hacia el par  $i$  está dado por la fórmula  $C_i = H_i/B_i$ , donde  $H_i$  es el número de saltos para llegar hacia el nodo  $i$  y  $B_i$  es el ancho de banda disponible para alcanzarlo. El método que se sigue es seleccionar el par que tiene el mayor valor del ancho de banda  $B_i$  una sola vez y seleccionar el par que tenga el menor valor de  $C_i$   $k$  veces. Tomando en cuenta que  $k$  es el número de veces que se repite la selección de pares con menor velocidad  $C_i$ , en la figura 3.2 se presenta un ejemplo de selección de pares con  $k=1$ . Primero se selecciona al par 2 que tiene el menor costo ( $C_2=0.4$ ), el siguiente par que será seleccionado es el par 6 por tener el mayor ancho de banda ( $B_6=5$ ), el siguiente en ser seleccionado es el par 3 por tener el menor costo ( $C_3=0.5$ ), y así el proceso se repite.

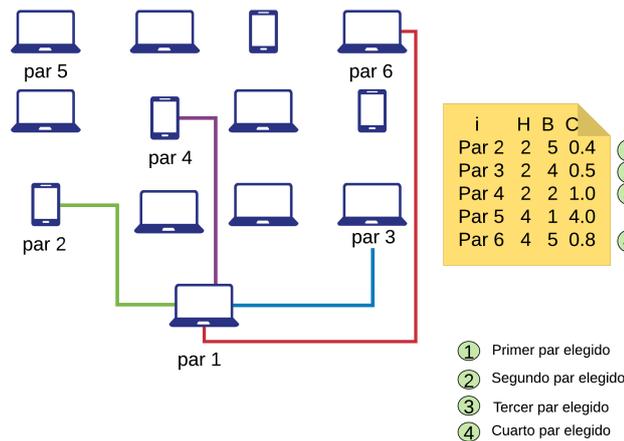


Figura 3.2: Ejemplo de selección de pares. Imagen inspirada en [6]

Sbai *et al.* [5], proponen definir un área de compartición y un área de diversificación. La estrategia consiste en que la cuarta conexión se utilice de vez en cuando para atender al área de diversificación. Cuando es el turno de atender el área de diversificación, un par de esta se selecciona al azar. Las ranuras de diversificación se planifican cada  $q$  ranuras de tiempo (donde  $q$  depende de las semillas que atienden el área de diversificación) y para las restantes  $q-1$  ranuras de tiempo los esfuerzos se centran en atender el área de compartición.

La figura 3.3 muestra un esquema del área de compartición y el área de diversificación.

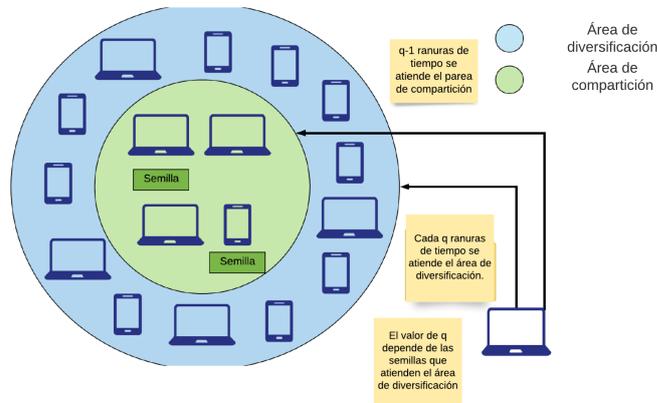


Figura 3.3: Áreas de compartición y diversificación. Imagen inspirada de [5]

M. Rethfeldt *et al.*[10] realizan experimentos variando la cantidad de pares a desahogar por mayor velocidad de subida de 4 a 5 y al azar de 0 a un par. También estudiaron escenarios con 25 nodos colocando la semilla en 10 diferentes configuraciones y encontraron que los tiempos de descarga promedio pueden reducirse en un 30-40 % dependiendo de la ubicación de la semilla. Concluyendo que el mejor resultado se obtiene cuando la semilla se encuentra en el centro.

La tabla 3.1 resume las estrategias de selección de pares en los trabajos estudiados.

Proyecto	Estrategia para la selección de pares
BitTorrent[1]	Mejor tasa de subida :3 Aleatorio :1
BTM [3]	Mejor tasa de subida :3 Aleatorio :1
BitHoc08 [4]	Mejor tasa de subida :3 Vecinos lejanos o cercanos cada $q$ ranuras de tiempo :1
Seok [6]	Pares con mejor costo (En términos de tiempo o ancho de banda)
BitHoc10 [5]	Mejor tasa de subida (área de compartición) :3 Área de diversificación :1
Mobile-BitTorrent [7]	Mejor tasa de subida :3 Aleatorio :1
MeNTor [10]	Mejor tasa de subida : variación de 1 a 5 pares Aleatorio : variación de 0 a un par

Tabla 3.1: Estrategias para la selección de pares en cada uno de los proyectos

### 3.3. Estrategias de elección de pieza

Sundaram Rajagopalan *et al.* [3] describen el protocolo BTM, donde la estrategia de elección de pieza utilizada es la original, es decir, solicitar la menos frecuente en el vecindario, y con esta táctica se pretende mantener uniforme la disponibilidad de las piezas en la red. Sbai *et al.* [4] definen dos estrategias diferentes, la primera corresponde al caso cuando la pieza es ofrecida por un par perteneciente a la tabla de vecinos lejanos (FNT) y la segunda cuando la pieza proviene de un par que se encuentra en la tabla de vecinos cercanos (NNT). En este último caso, cuando la pieza es ofrecida por un par perteneciente a la tabla NNT, la estrategia utilizada es pedir la pieza menos frecuente en el vecindario. En el primer caso se define una estrategia llamada «pieza ausente». En ella se define que, cuando a un par le ofrecen una pieza, este calcula la redundancia en sus vecinos cercanos. A diferencia del protocolo BitTorrent original, la pieza candidata es aquella que no existe en su vecindario cercano, en caso de que no existan múltiples piezas, alguna de ellas es elegida al azar. La idea principal es no descargar una pieza del vecindario lejano si se encuentra en el vecindario cercano.

Seok *et al.* [6] proponen identificar a los pares que están detrás de otros pares, estos reciben el nombre de pares sombreados (*shaded peers*). En la figura 3.4 se muestran tres pares A, B y C que están interesados en una pieza X. El par A envía la pieza X al par C porque este último previamente había realizado la solicitud para adquirirla (paso 1). La pieza pasó por el par B pero su aplicación P2P no la requería. Poco tiempo después este mismo par solicita la pieza al par C y este último se la proporciona (paso 2). El par B tuvo la pieza en algún momento para encaminarla pero no se quedó con ella y después tuvo que pedirla creándose así un flujo de datos innecesario. Para evitar lo anterior la estrategia propuesta es la pieza menos frecuente en el vecindario siempre y cuando los pares no sean sombreados, es decir, que no estén detrás de otros.

Quental *et al.* [7] proponen un modelo en el cual existen dos tipos de pares, los diseminadores (*disseminator peers*) y los pares comunes (*common peers*), los pares diseminadores periódicamente transmiten mediante *broadcast* algunas piezas a sus vecinos que se ubican a un salto, pero además responden a solicitudes de contenido que realizan los pares comunes. La estrategia utilizada por el par diseminador para determinar qué pieza será enviada es la pieza menos frecuente en el vecindario. En el caso de que exista más de una pieza menos frecuente, el par diseminador tiene el compromiso de evitar escoger la misma pieza que sería elegida mediante petición de los pares comunes, con el objetivo de reducir el tráfico de mensajes redundantes de la red. Los pares comunes colaboran con otros pares y utilizan mensajes de unidifusión

(punto a punto) y difusión para completar la descarga, la solicitud de piezas se realiza también con el criterio de la pieza menos frecuente en el vecindario.

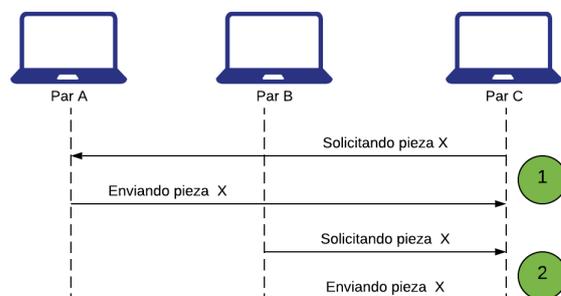


Figura 3.4: Descarga de contenido considerando un par sombreado [2]

### 3.4. Discusión

En esta sección se describieron los trabajos que se han realizado para adaptar el protocolo BitTorrent en redes ad hoc.

Todos los esfuerzos presentados han tenido como base adaptaciones de las estrategias de selección tanto de pares como de piezas, pero ninguno de estos trabajos modificó el valor de alguno de los tres parámetros fundamentales del protocolo: número de pares desahogados por mejor velocidad, tiempo entre desahogos y tamaño de pieza. En el capítulo 4 se estudia el impacto de la variación de estos parámetros en el protocolo BitTorrent



# Capítulo 4

## Estudio paramétrico

En el capítulo 3 se observó que todos los trabajos analizados utilizaron los valores originales para los tres parámetros fundamentales del protocolo BitTorrent: cantidad de pares a desahogar, tiempo entre desahogos y tamaño de la pieza. En este capítulo se presenta el estudio del desempeño de BitTorrent al utilizar diferentes valores en cada uno de estos tres parámetros. El objetivo es encontrar aquella configuración en la que el protocolo tenga el mejor desempeño en redes ad hoc. *Cabe mencionar que, según la investigación documental realizada, en la actualidad no existe ningún estudio que nos indique los valores para estos parámetros que se adapten mejor al entorno inalámbrico.*

En la sección 4.1 se definen los parámetros a estudiar junto con los valores que fueron descritos en el protocolo original y los que se utilizarán en este estudio. Posteriormente, en las secciones 4.2, 4.3, 4.4, se muestran las herramientas de simulación, la configuración y las medidas de desempeño seleccionadas, respectivamente. Por último en la sección 4.5 se presentan y analizan los resultados obtenidos.

### 4.1. Parámetros a estudiar

Los parámetros a estudiar y los valores que se les asignarán se listan enseguida:

1. Número de pares a desahogar: es la cantidad de pares que se atienden con la finalidad de proporcionarles piezas. En el protocolo BitTorrent original se desahogan los tres pares de mejor velocidad y uno al azar. En este trabajo se estudia el efecto de desahogar de 1 a 6 pares mientras que se elige siempre solo un par al azar.

2. Tiempo entre desahogos: es la cantidad de tiempo que se atiende a los pares desahogados, pasado este tiempo se eligen a pares nuevos para ser atendidos y el ciclo se repite. En el protocolo BitTorrent original el tiempo entre desahogos para los pares por mejor velocidad es de 30 segundos, mientras que para el par desahogado al azar es de 10 segundos. En este trabajo se realiza una variación al doble y a la mitad del valor correspondiente al tiempo de desahogo para los pares por mejor velocidad, mientras que el tiempo para el par desahogado al azar se mantiene fijo en 10 segundos.
3. Tamaño de la pieza: como se describió en la sección 2.2 la unidad de intercambio entre los pares es la pieza. En el protocolo BitTorrent original el tamaño de la pieza es de 128KB. En este trabajo se evalúan dos valores 64KB y 256KB, correspondientes respectivamente a la mitad y al doble del tamaño de la pieza original .

## 4.2. Plataforma de evaluación: OMNET, INET y EbitSim

En prácticamente todos los trabajos que se han enfocado en la adaptación del protocolo BitTorrent en redes ad hoc se utiliza la simulación por computadora para evaluar las propuestas. En este trabajo, de igual manera, se utilizó la simulación de eventos discretos con un entorno conformado por las herramientas que se describen a continuación.

OMNeT++ [11] es un marco de simulación en C++ extensible, modular y basado en componentes, principalmente utilizado para estudiar redes de telecomunicaciones cableadas e inalámbricas. OMNeT++ proporciona una arquitectura de componentes para los modelos, estos componentes son llamados módulos. Cada módulo es programado en C++ y ensamblado en componentes y modelos más grandes utilizando un lenguaje de alto nivel llamado NED.

INET [12] es una biblioteca de modelos de código abierto para el entorno de simulación OMNeT++. INET contiene modelos para la pila de Internet (TCP, UDP, IPv4, IPv6, etc.), protocolos de capa de enlace para la red cableada e inalámbrica como Ethernet, IEEE 802.11, soporte para modelos de movilidad y protocolos inalámbricos.

Por último se encuentra el simulador llamado *Enhanced BitTorrent Simulator* (EbitSim) [13] que modela el comportamiento del protocolo BitTorrent en redes cableadas. EbitSim está basado en el modelo modular de OMNeT++ y utiliza elementos del framework INET para modelar componentes de la

red. EbitSim fue construido para simular el protocolo BitTorrent en diferentes escenarios cableados, sin embargo en este proyecto el reto es generar una variante que funcione bien en un ambiente inalámbrico.

Para lograr el objetivo, el primer paso en la creación de un modelo de simulación fue cambiar el protocolo de red Ethernet al protocolo IEEE 802.11 en cada uno de los nodos que son parte de la red, adicionalmente se integró un protocolo de encaminamiento para redes inalámbricas.

### 4.3. Configuración de las simulaciones

Los escenarios de simulación estudiados en este capítulo están formados por nodos que se encuentran colocados en una malla de 25, 50, 75 y 100 nodos separados 90 metros entre sí. Un ejemplo se muestra en la figura 4.1. El primer nodo corresponde a la semilla y está ubicado en la coordenada (10 m, 10 m), los demás nodos están interesados en el contenido digital. Cada nodo tiene una potencia de transmisión de 0.4 mW y una sensibilidad en la recepción de -85 dBm, el modelo de propagación usado es el modelo de dos rayos (*two-ray-ground model*). Con estos parámetros se logra tener una cobertura hacia los vecinos de izquierda, derecha, arriba y abajo. El protocolo utilizado en la capa MAC es IEEE802.11 y el protocolo de encaminamiento es DSR (*dynamic source routing*). Por cada experimento se realizaron 20 repeticiones. La configuración empleada en las simulaciones es la reportada en [2] y se resume en la tabla 4.1.

Parámetro	Valor
Área de simulación	1000 m x 1000 m
Cantidad de nodos	25, 50 75 y 100
Cantidad de semillas iniciales	1
Ubicación de la semilla	(10 m, 10 m)
Potencia de transmisión	0.4 mW
Sensibilidad de recepción	-85 dBm
Protocolo de encaminamiento	DSR ( <i>dynamic source routing</i> )
Modelo de propagación	Dos rayos ( <i>two-ray-ground model</i> )
Cantidad de repeticiones del experimento	20

Tabla 4.1: Configuración de las simulaciones

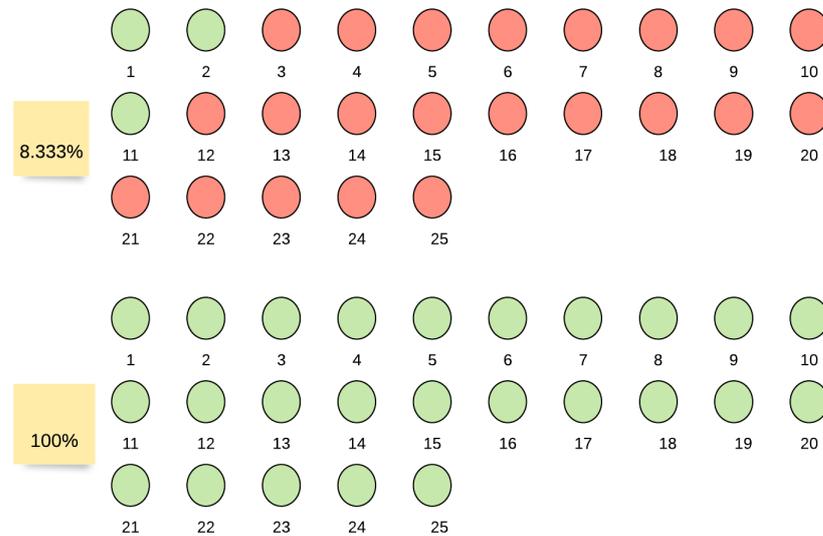


Figura 4.1: Ejemplo de relación cantidad de nodos-porcentaje de descargas. Los óvalos color verde representan los nodos semilla, mientras que los óvalos color rojo representan los nodos que están interesados en el contenido digital. Para la configuración de arriba se tienen dos nodos adicionales que lograron bajar el contenido y se convirtieron en semillas. Estos nodos representan un 8.33 % de los 24 nodos que buscan descargar el contenido. Mientras que en la configuración de abajo, los 24 nodos que buscaban descargar el contenido ya lo obtuvieron, es decir, se logró un 100 % de las descargas.

## 4.4. Medidas de desempeño

Las secciones siguientes describen las medidas de desempeño que se utilizaron para la evaluación de rendimiento de cada juego de valores en el estudio paramétrico.

### 4.4.1. Evolución del porcentaje de descargas con respecto al tiempo

Se define como el porcentaje de la cantidad de pares que han terminado la descarga, sin contar el nodo semilla, con base en el total de nodos que buscan descargar el contenido, esto con respecto al tiempo.

A continuación se describe el procedimiento para obtener las gráficas que son presentadas utilizando esta primera medida de desempeño. En la figura 4.1 se observa la configuración utilizada para 25 nodos donde el óvalo verde representa al par semilla y los otros 24 óvalos en rojo representan al mismo número de nodos interesados en descargar el contenido. A modo de ejemplo imaginemos que transcurridos 300 segundos el par dos se convierte en semilla,

con él se tendría al primer nodo que completo la descarga correspondiente con el 4.166 % del total de descargas, 60 segundos más tarde el par 11 es el que logra descargar el contenido, siendo el segundo nodo en lograr la descarga completa y el porcentaje sería de 8.333 %. En algún momento los 24 nodos que estaban interesados en la descarga también se habrán convertido en semillas y entonces se llegará al 100 %.

De la misma forma se obtienen las gráficas correspondientes a esta medida de desempeño para 50, 75 y 100 nodos que se presentarán a lo largo de este capítulo.

#### 4.4.2. Tiempo promedio de descarga

El tiempo promedio de descarga se define como el promedio de los tiempos en el que los pares terminan la descarga.

Las gráficas correspondientes al tiempo promedio de descarga se obtienen a partir del promedio de los tiempos de cada uno de los nodos por cada configuración. A continuación se presenta un ejemplo, para 25 nodos se tienen 24 tiempos en los que terminaron cada uno de los pares, al promediarlos se obtiene un tiempo para esa corrida en particular. Se realiza exactamente el mismo procedimiento para las 19 corridas restantes y al final se promedian 20 tiempos para la configuración de 25 nodos. El mismo procedimiento se realiza para 50, 75 y 100 nodos formándose una curva de cuatro puntos.

Para cada una de las gráficas que se presentarán en las siguientes secciones, correspondientes a esta medida de desempeño, el eje X (eje horizontal) representa la cantidad de pares a desahogar mientras que en el eje Y (eje vertical) se tiene el tiempo promedio de la descarga (en segundos).

### 4.5. Resultados

En esta sección se presentan los resultados de variar la cantidad de pares a desahogar, el tiempo entre desahogos y el tamaño de la pieza y se comparan con el protocolo BitTorrent original.

La tabla 4.2 muestra la variación de los valores para cada uno de los tres parámetros estudiados

Parámetro	Valores	Valor original
Cantidad de pares a desahogar	1 par a 6 pares	3 pares
Tiempo entre desahogos	15 y 60 segundos	30 segundos
Tamaño de pieza iniciales	64KB y 256 KB	128KB

Tabla 4.2: Configuración de las simulaciones

### 4.5.1. Experimentos variando el número de pares a desahogar

#### Medida de desempeño: evolución del porcentaje de descargas con respecto al tiempo

En las figuras 4.2, 4.3, 4.4 y 4.5 se presentan las gráficas para 25, 50, 75 y 100 nodos respectivamente cuando la cantidad de pares a desahogar por mejor velocidad varía de uno a seis. La cantidad de pares desahogados al azar en todos los casos es uno.

Las curvas presentadas en las gráficas están identificadas por las leyendas “uno uno”, “dos uno”, etc., el primer número en letra significa la cantidad de pares desahogados por mejor velocidad mientras que el segundo número representa los pares desahogados al azar, el cual se mantuvo siempre fijo con valor uno.

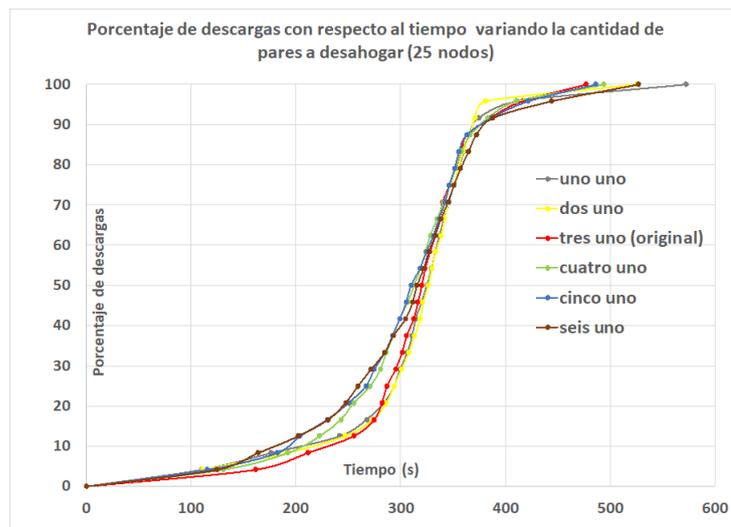


Figura 4.2: Variación de pares a desahogar (25 nodos)

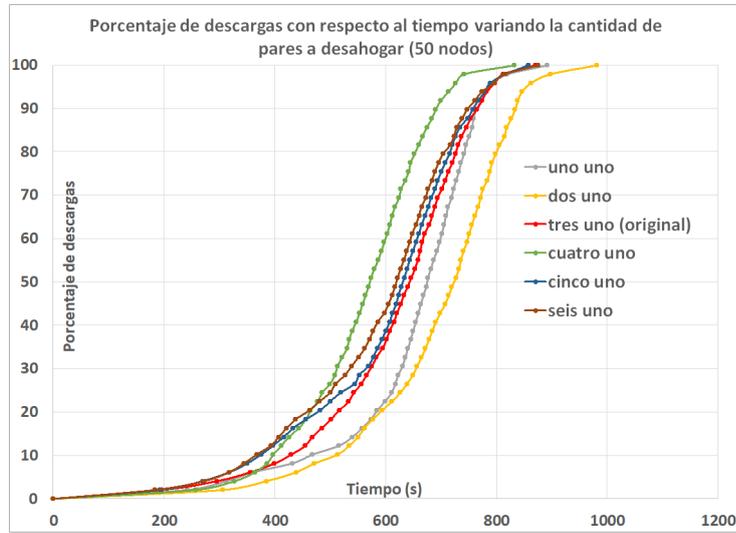


Figura 4.3: Variación de pares a desahogar (50 nodos)

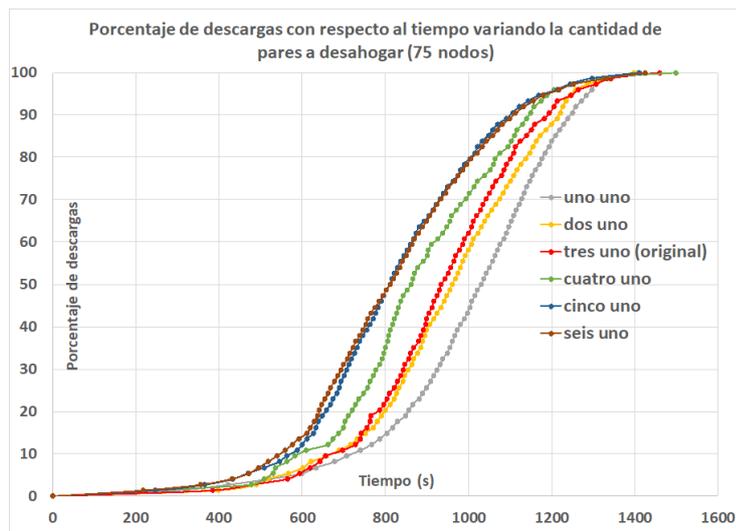


Figura 4.4: Variación de pares a desahogar (75 nodos)

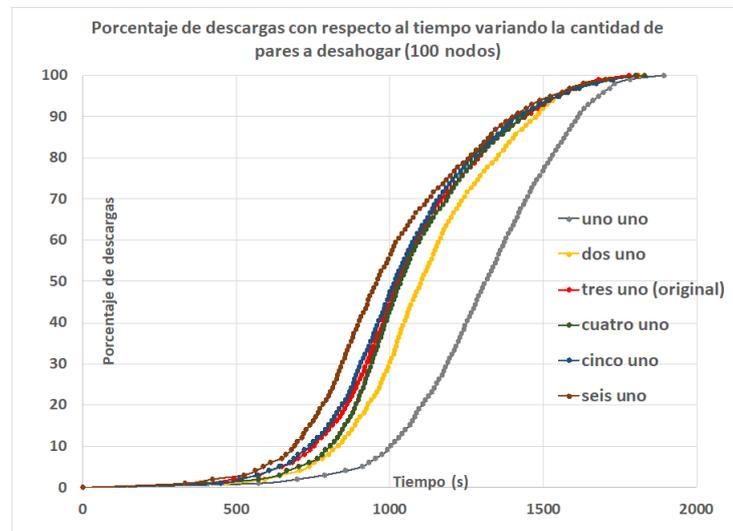


Figura 4.5: Variación de pares a desahogar (100 nodos)

En las gráficas anteriores se puede observar que para 25, 50, 75 y 100 nodos existen valores para los pares desahogados por mejor velocidad que mejoran el desempeño del protocolo BitTorrent original (curva roja). En la figura 4.2 para un tamaño de red de 25 nodos se observa que la curva café, la cual representa seis pares desahogados por mejor velocidad y uno al azar, tiene un buen desempeño ya que mientras el protocolo original llega al 11 % de porcentaje de descarga, la curva café ya descargó 25 %, esto sucede transcurridos 256 segundos.

En la figura 4.3 para 50 nodos la curva verde, correspondiente a cuatro pares por mejor velocidad y uno al azar, es la mejor, es la primera en completar el 100 % de las descargas y en promedio tiene una ganancia del 10 % en relación con la curva más cercana (café) correspondiente con seis pares desahogados por mejor velocidad, además claramente se observa que se obtienen mejores resultados que en el protocolo original.

En la figura 4.4 correspondiente a un tamaño de red de 75 nodos se tiene que las curvas café y azul correspondientes respectivamente a cinco y seis pares a desahogar por velocidad (más uno al azar en ambos casos) son las configuraciones que tienen un mejor desempeño, obsérvese que mientras el protocolo BitTorrent llega al 20 % del total de descargas, desahogando a seis pares por mejor velocidad, el total de descargas llega cerca del 50 % a los 800 segundos.

Por último en la figura 4.5, para un tamaño de red de 100 nodos, se observa que la curva café (seis pares desahogados por velocidad) tiene un crecimiento más rápido que las otras curvas aunque para el 80 % de las descargas las

curvas correspondientes con 3, 4, 5 y 6 pares a desahogar por mejor velocidad tienen un desempeño muy similar (se traslapan).

En la mayoría de los casos, mientras más pares se desahoguen es mejor para completar más rápido la descarga, aunque llega un momento en que las curvas se traslapan, esto podría deberse a que al desahogar a una mayor cantidad de pares se acelera la tasa a la que se completan las descargas pero también se origina una mayor congestión en la red.

En conclusión: ya que para 75 y 100 nodos la curva café tiene un buen desempeño, es prudente desahogar a seis nodos por mejor velocidad y uno al azar.

### Medida de desempeño: Tiempo promedio de descarga

En la gráfica 4.6 se observan los resultados correspondientes con las configuraciones uno uno (un par por mejor velocidad uno al azar), dos uno (dos pares por mejor velocidad uno al azar), tres uno (tres pares por mejor velocidad uno al azar), cuatro uno (cuatro pares por mejor velocidad uno al azar), cinco uno (cinco pares por mejor velocidad uno al azar) y seis uno (seis pares por mejor velocidad uno al azar). Cada curva agrupa los resultados de cuatro puntos correspondientes a los tamaños de red de 25, 50, 75 y 100 nodos.

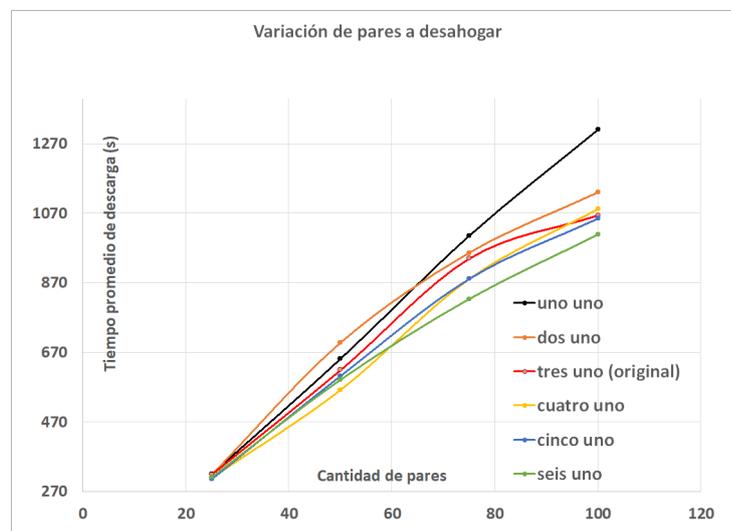


Figura 4.6: Variación de pares a desahogar

En la gráfica 4.6 la mejor opción es la curva que se encuentre más cerca al eje horizontal (el cual representa la cantidad de pares a desahogar) ya que eso significa que en promedio los nodos han descargado el contenido en menor

tiempo. La curva amarilla correspondiente con cuatro pares desahogados por mejor velocidad parece tener un buen desempeño hasta 50 nodos, a partir de ahí, seis pares desahogados por mejor velocidad (curva verde) parece ser la mejor hasta que todos llegan a la descarga completa.

### 4.5.2. Experimentos variando el tiempo entre desahogos

#### Medida de desempeño: evolución del porcentaje de descargas con respecto al tiempo

El siguiente parámetro a estudiar es el tiempo entre desahogos el cual tiene una variación hacia la mitad (15 segundos) y al doble (60 segundos) de su valor original (30 segundos). Las gráficas para 25, 50, 75 y 100 nodos son presentadas en las figuras 4.7, 4.8, 4.9 y 4.10 respectivamente.

En las gráficas que se presentan a continuación se puede observar que para 25, 50, 75 y 100 nodos existen valores para el tiempo entre desahogos que mejoran el desempeño del protocolo BitTorrent original (curva roja).

En la gráfica 4.7 no se observa gran diferencia en el comportamiento de las curvas para los casos analizados en esta figura, por lo que, no se logra encontrar un buen candidato para ser la configuración con mejor desempeño.

En la gráfica 4.8 la curva amarilla con un tiempo entre desahogos de 15 segundos tiene una ligera mejora. Esta curva está muy cerca de la curva roja correspondiente con el protocolo BitTorrent original (tiempo entre desahogos de 30 segundos).

En la gráfica 4.9 se puede ver que la curva amarilla, correspondiente a un tiempo entre desahogos de 15 segundos, obtiene un buen desempeño y llega a tener hasta un 34% de mejora con respecto del protocolo BitTorrent original.

En la gráfica 4.10 parece que no hay mucha diferencia al configurar el tiempo entre desahogos a 15 segundos (curva amarilla), a 60 segundos (curva gris) o a 30 segundos (curva roja). La curva amarilla y la curva roja tienen un comportamiento muy parecido, aunque por momentos la primera se encuentra ligeramente por encima.

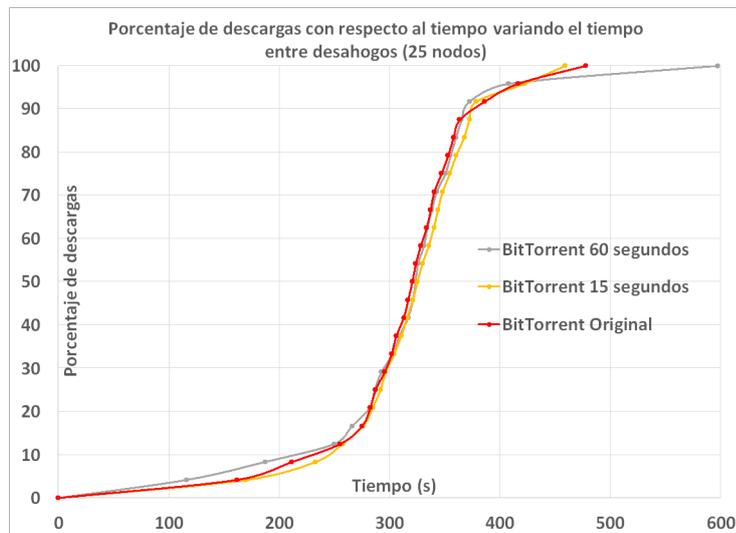


Figura 4.7: Variación del tiempo entre desahogos (25 nodos)

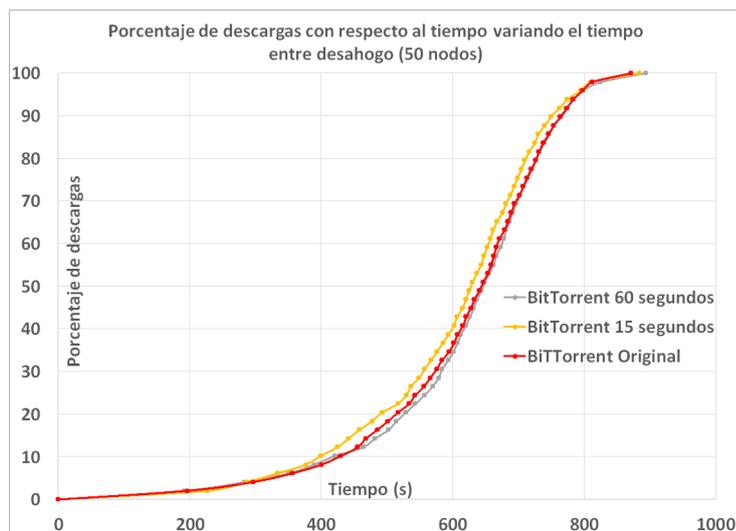


Figura 4.8: Variación del tiempo entre desahogos (50 nodos)

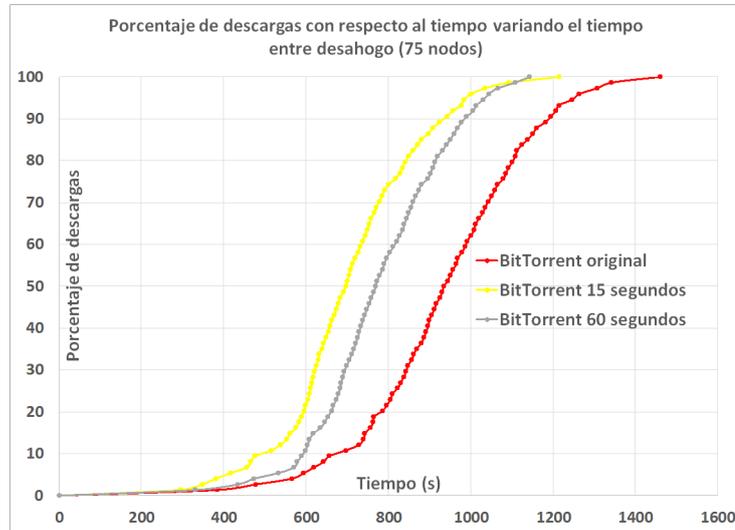


Figura 4.9: Variación del tiempo entre desahogos (75 nodos)

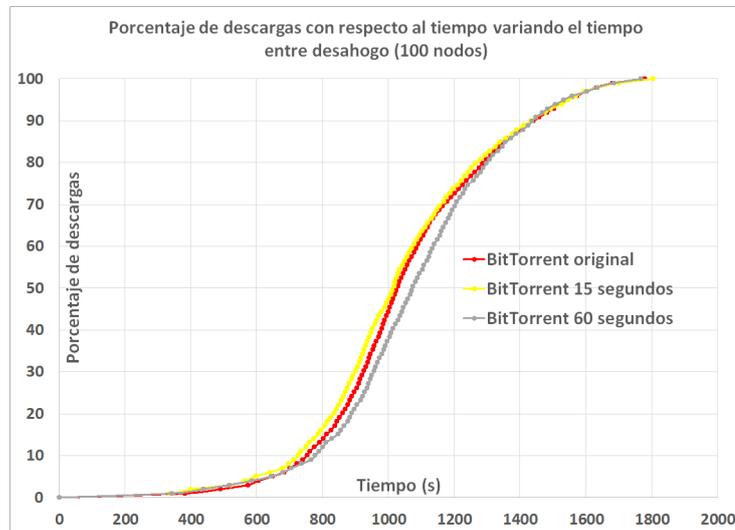


Figura 4.10: Variación del tiempo entre desahogos (100 nodos)

En conclusión: parece que aumentar el tiempo entre desahogos puede reducir la probabilidad de obtener piezas completas cuando se tienen redes grandes.

### Tiempo promedio de descarga

En la gráfica 4.11 se presentan tres curvas correspondientes a un tiempo entre desahogos de 15 (verde), 30 (roja) y 60 (gris) segundos. Se observa que a partir de 50 nodos la curva con mejor desempeño es la verde (correspondiente a un tiempo entre desahogos de 15 segundos). Para 75 nodos se llega a tener una ganancia del 26.32% con respecto al protocolo original, por otro lado para 100 nodos la ganancia es mínima.

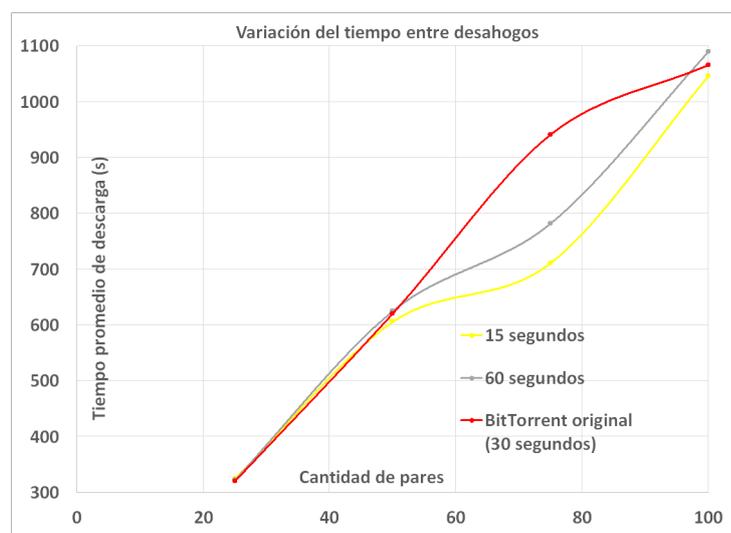


Figura 4.11: Variación del tiempo entre desahogos

### 4.5.3. Experimentos variando el tamaño de la pieza

El último parámetro por estudiar es el tamaño de la pieza. En las figuras 4.12, 4.13, 4.14 y 4.15 se presentan las gráficas correspondientes a una red formada por 25, 50, 75 y 100 nodos respectivamente variando el tamaño de pieza del original (128KB curva roja), a la mitad (64KB curva verde) y al doble (256KB curva azul). A partir de aquí y a lo largo del documento se nombrará S o *small* a la pieza con tamaño de 64KB, M o *medium* al tamaño correspondiente a 128KB y L o *large* a la pieza con tamaño de 256KB.

### Medida de desempeño: evolución del porcentaje de descargas con respecto al tiempo

Se presentan a continuación las gráficas 4.12, 4.13, 4.14 y 4.15 correspondientes a la evolución del porcentaje de descargas.

En la gráfica de la figura 4.12 para 25 nodos en la red, se observa que la curva roja (tamaño *medium*) junto con la verde (tamaño *small*) tienen un desempeño muy similar, con una ligera ganancia de la curva verde desde el segundo 315 hasta el 415. La pieza con un tamaño *large* (curva azul) tiene un buen desempeño al inicio pero transcurridos 300 segundos, cuando el porcentaje de descargas se encuentra cerca del 40 %, el desempeño se vuelve pobre, esto es debido a que mientras el tamaño de pieza sea más grande puede suceder que se deje de atender a un par y este no descargue la pieza completa y tenga que volverla a pedir.

Para calcular la ganancia presentada en los siguientes párrafos el procedimiento adoptado es el siguiente: se elige un tamaño de red entre 25, 50, 75 o 100 y trazando una línea vertical se ubican los puntos en el eje y (tiempo promedio de descarga) donde se intersectan la curva correspondiente al protocolo BitTorrent original (M) y la curva analizada, la diferencia en porcentaje del valor de estos puntos es considerada como ganancia si la curva analizada está por debajo del protocolo BitTorrent original (M).

En la gráfica 4.13, para 50 nodos en la red, la curva roja (tamaño *medium*), y la curva verde, correspondiente con una pieza de tamaño *small*, están muy juntas hasta un 10 % del total de descargas, a partir de ahí la curva verde está por encima llegando a una ganancia de 31.58 % con respecto del protocolo original.

En la gráfica 4.14 para 75 nodos en la red, la curva verde, correspondiente a piezas de tamaño *small*, está ligeramente por debajo de la curva roja (tamaño *medium*) hasta un 5 % de descarga, a partir de ahí, la curva verde se encuentra por encima de la curva roja llegando a una ganancia máxima de 24.39 % transcurridos 900 segundos.

En la gráfica 4.15 para 100 nodos en la red, la curva verde, correspondiente a piezas de tamaño *small*, está ligeramente por debajo de la curva roja (tamaño *medium*) hasta un porcentaje de descarga del 10 %, a partir de ahí la curva verde se encuentra por encima de la curva roja llegando a una ganancia máxima de 14.94 % transcurridos 1200 segundos.

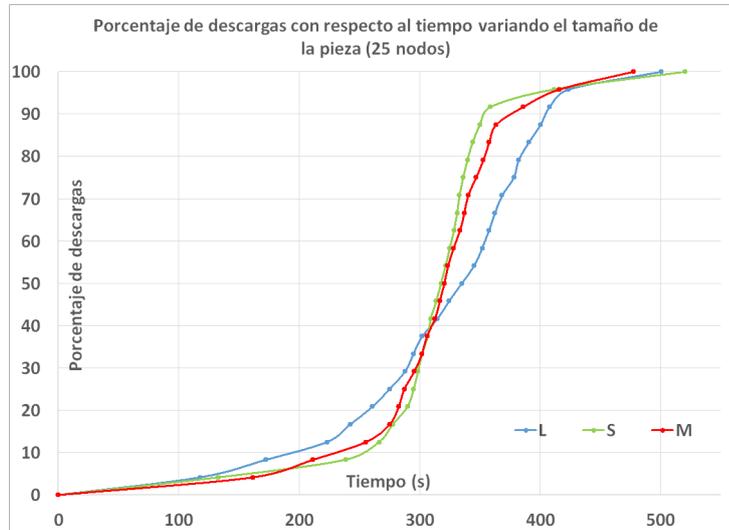


Figura 4.12: Variación del tamaño de pieza (25 nodos)

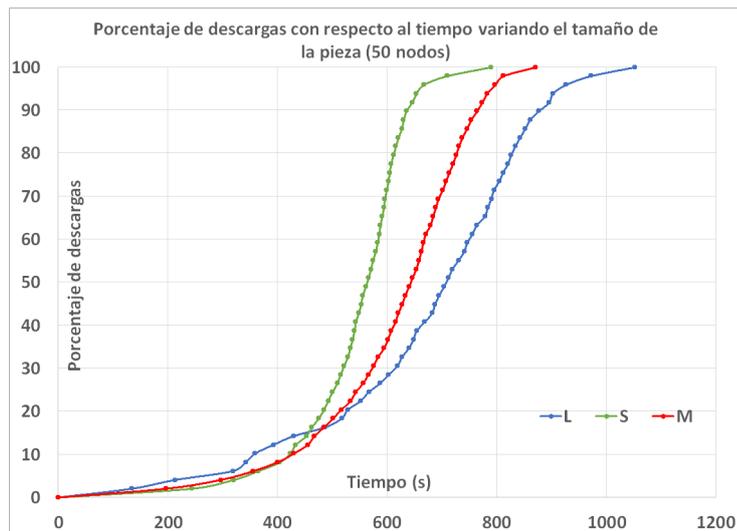


Figura 4.13: Variación del tamaño de pieza (50 nodos)

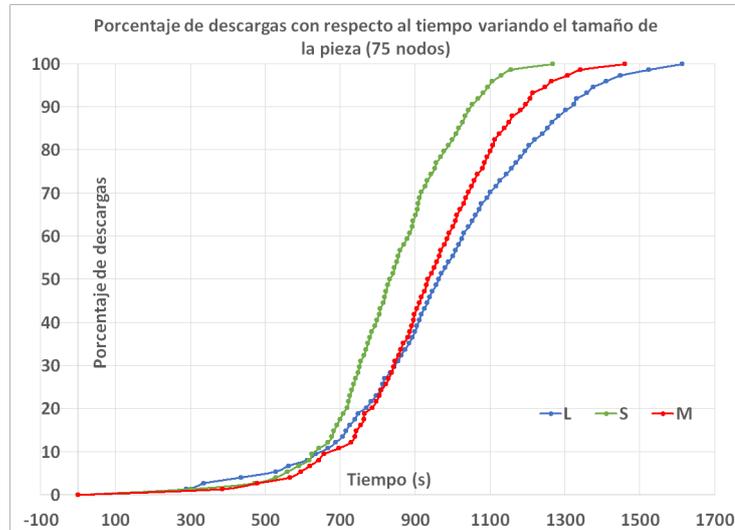


Figura 4.14: Variación del tamaño de la pieza (75 nodos)

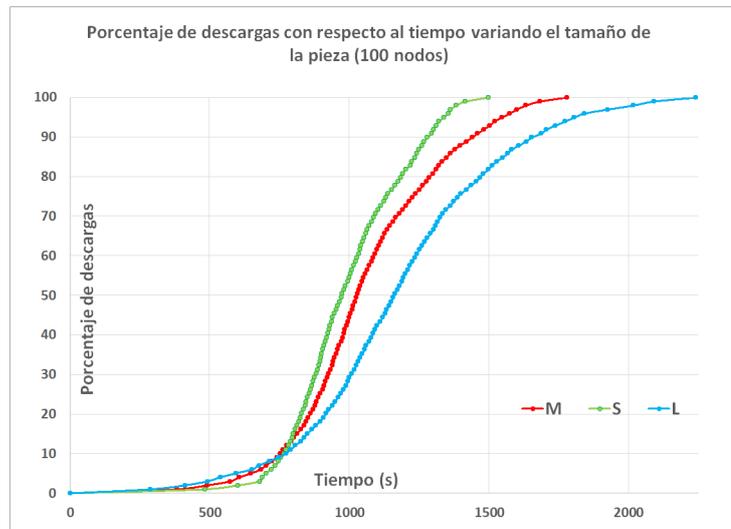


Figura 4.15: Variación del tamaño de la pieza (100 nodos)

### Tiempo promedio de descarga

En la gráfica 4.16 se presentan las curvas correspondientes a la variación del tamaño de la pieza utilizando como medida de desempeño el tiempo promedio de descarga. Se observa que la curva naranja, correspondiente a un tamaño *small*, se encuentra por debajo de la curva roja, correspondiente al

protocolo BitTorrent original (tamaño *medium*). La ganancia más grande se presenta para 75 nodos.

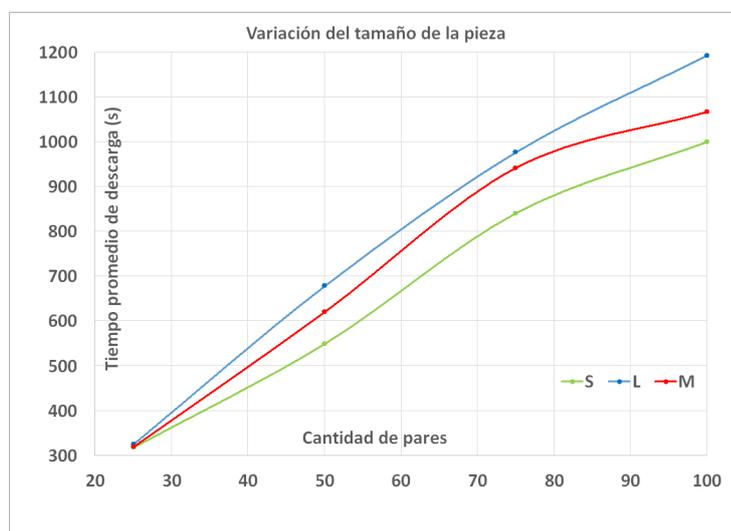


Figura 4.16: Curvas correspondientes al protocolo BitTorrent y su variación en el tamaño de la pieza

En la gráfica 4.6 la curva verde, correspondiente con un tamaño *small* parece tener un buen comportamiento en todo momento, concluyendo así, que la distribución de contenido digital tendrá un mejor desempeño al dividir el contenido en piezas más pequeñas

## 4.6. Discusión

De los experimentos presentados en esta sección se obtuvieron los mejores valores para cada parámetro considerado individualmente, los cuales se convirtieron en candidatos para utilizarse en el protocolo BitTorrent y así obtener una mejora de su desempeño en redes *ad hoc*: desahogar a una mayor cantidad de pares, reducir el tiempo entre desahogos y utilizar la pieza más pequeña.

En el siguiente capítulo se evalúa el protocolo BitTorrent sobre redes *ad hoc* variando más de un parámetro.



## Capítulo 5

# Evaluación paramétrica de BitTorrent variando más de un parámetro

En el capítulo 4 se estudió el desempeño del protocolo BitTorrent al hacer la variación, uno a la vez, de cada uno de los tres parámetros que son parte fundamental en su desempeño, a saber: el número de pares a desahogar, el tiempo entre desahogos y el tamaño de la pieza. De estos experimentos individuales se obtuvieron los siguientes valores candidatos que podrían tener un buen desempeño al utilizarlos en BitTorrent: seis pares a desahogar por mejor velocidad uno al azar, tiempo entre desahogos de 15 segundos y tamaño de pieza *small*.

En la sección 5.1 se presenta el estudio del desempeño de BitTorrent utilizando los valores candidatos juntos. En la sección 5.2 se presenta el estudio del protocolo variando solo dos de ellos y dejando uno con el valor presentado en el protocolo original.

### 5.1. Evaluación de BitTorrent con la nueva configuración

En las figuras 5.1, 5.2, 5.3 y 5.4 se presentan las gráficas correspondientes a la evaluación del protocolo BitTorrent con los valores que individualmente dieron el mejor resultado: seis pares a desahogar por mejor velocidad uno al azar, tiempo entre desahogos de 15 segundos y tamaño de pieza *small*. En las gráficas mencionadas se presentan los resultados para cuatro diferentes tamaños de red: 25, 50, 75 y 100 nodos respectivamente.

### **Evolución del porcentaje de descargas con respecto al tiempo**

En la gráfica 5.1 se observa que entre la curva azul y la naranja, correspondientes con el protocolo original y BitTorrent con la configuración propuesta respectivamente, no se presentan diferencias considerables en el comportamiento hasta aproximadamente el 9 % del total de descargas, esto sucede a los 200 segundos, a partir de ahí la máxima ganancia del protocolo con los parámetros propuestos es de 33.82 %.

En la gráfica 5.2 se observa que la curva azul (BitTorrent original) y la naranja (BitTorrent usando la configuración propuesta) se encuentran casi traslapadas hasta que el total de descargas es de 5 %, esto sucede después de transcurrir 320 segundos. A partir de ahí nuestra propuesta comienza a separarse llegando a una ganancia máxima de 73.68 % en el segundo 690.

Las curvas para 75 nodos se presentan en la gráfica 5.3, es más claro ver ahora la separación de la curva naranja (BitTorrent usando la configuración propuesta) y la azul (BitTorrent original). La ganancia máxima que se llega a tener es de 28.57 % a los 800 segundos. Cabe mencionar que en la configuración propuesta llega más rápido al 100 % de descargas (1100 segundos) que el protocolo BitTorrent original (1500 segundos).

Finalmente, en la gráfica 5.4, se presentan las curvas correspondientes con la configuración propuesta (curva naranja) y BitTorrent original (curva azul) para un tamaño de red de 100 nodos. Se observa que la curva naranja se encuentra por encima de la azul, llegando a una ganancia máxima de 49.9 % transcurridos 900 segundos. La configuración propuesta termina todas las descargas en 1500 segundos mientras que BitTorrent original lo logra en 1800 segundos.

En resumen, al analizar el comportamiento del protocolo con la configuración propuesta contra la configuración original (gráficas 5.1, 5.2, 5.3 y 5.4) para redes de 25, 50, 75 y 100 nodos, podemos observar que la configuración estudiada tiene una ganancia con respecto al protocolo BitTorrent original. Aunque para 25 nodos no hay una diferencia muy marcada entre el protocolo original y la configuración propuesta, para 50 nodos la brecha entre las curvas comienza a crecer, y es en la red con 75 nodos que se logra el mejor desempeño de la configuración propuesta. Por último, para 100 nodos la ganancia del protocolo propuesto disminuye, tal vez se pueda llegar a un número de nodos en que la ganancia obtenida por la configuración propuesta pierda efecto.

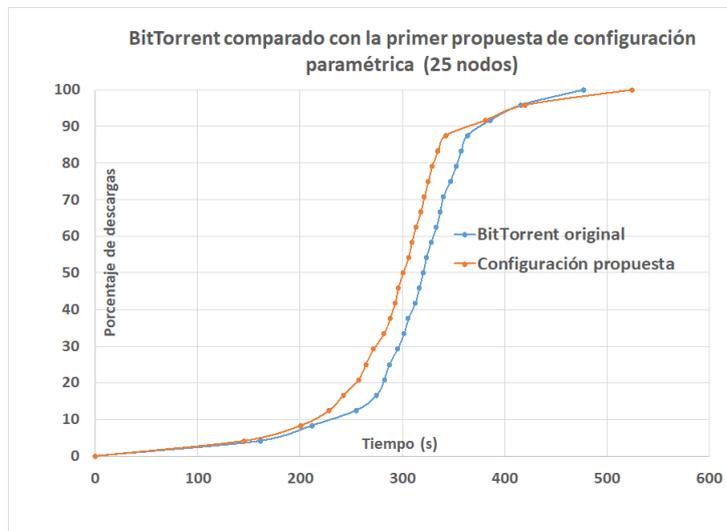


Figura 5.1: Configuración propuesta comparada con BitTorrent original 25 nodos

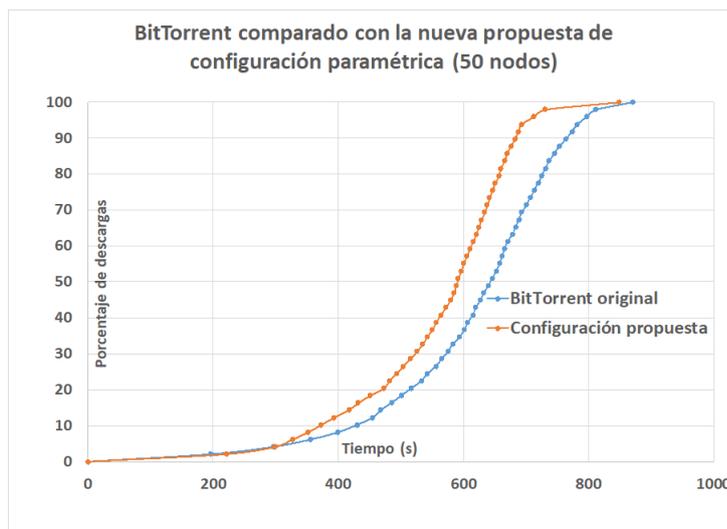


Figura 5.2: Configuración propuesta comparada con BitTorrent original 50 nodos

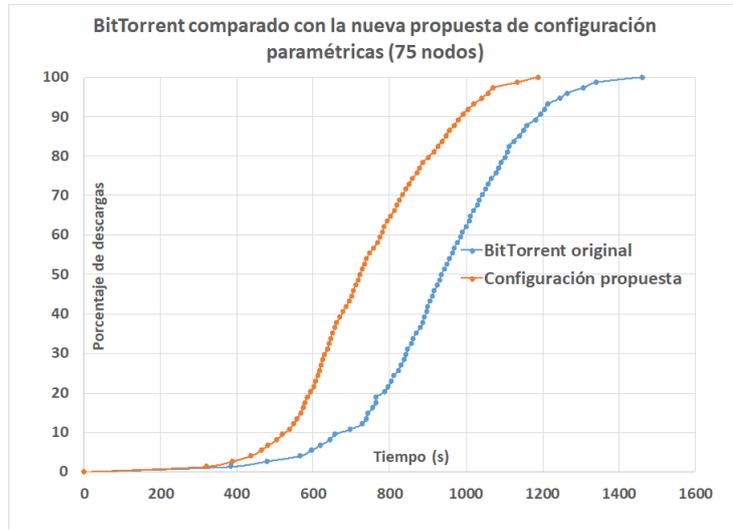


Figura 5.3: Configuración propuesta comparada con BitTorrent original 75 nodos

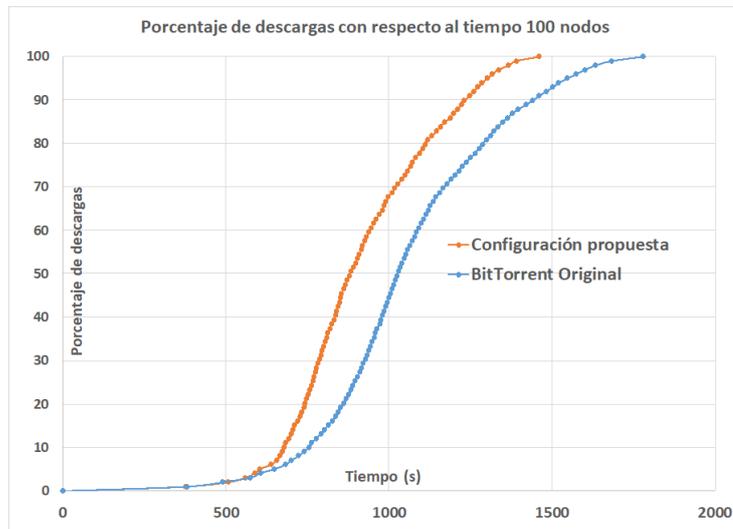


Figura 5.4: Configuración propuesta comparada con BitTorrent original 100 nodos

### Tiempo promedio de descarga

En la gráfica 5.5, que muestra el tiempo promedio de descarga, se logra observar de una forma más clara la mejoría de BitTorrent con la configuración propuesta con respecto a BitTorrent original, encontrando la ganancia más grande para una configuración de 75 nodos.

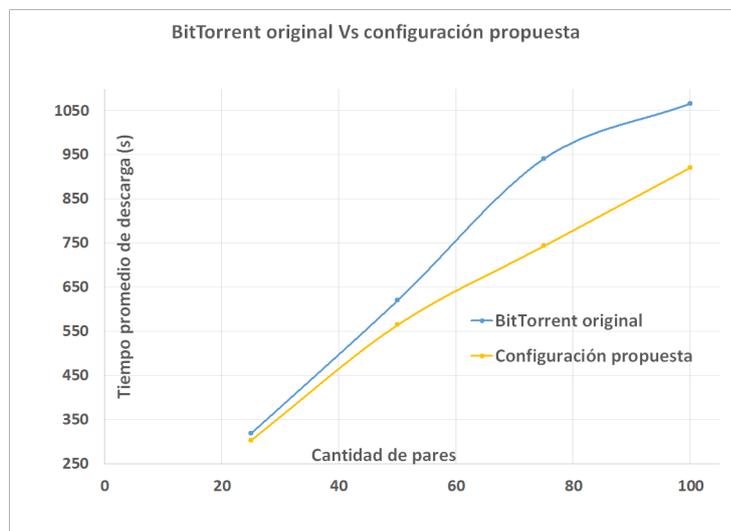


Figura 5.5: Curvas correspondientes al protocolo BitTorrent y al protocolo propuesto

## 5.2. Análisis del protocolo BitTorrent variando el valor de dos parámetros

Aunque ya se encontró una mejora al desempeño del protocolo BitTorrent se observa que esta no corresponde a la suma del beneficio de cada uno de los parámetros cambiados, eso puede indicar que los efectos de los cambios no son ortogonales y se están interfiriendo. En consecuencia, es pertinente estudiar configuraciones paramétricas en donde se explore el efecto de realizar cambios en los parámetros, tomando dos a la vez para observar si alguna de ellas ofrece un mejor rendimiento.

La tabla 5.1 muestra las tres configuraciones que se pueden realizar variando solo dos de los tres parámetros en el protocolo BitTorrent.

Configuración	No. de pares	Tiempo entre desahogos(s)	Tamaño de la pieza
1	3	15	<i>small</i>
2	6	15	<i>medium</i>
3	6	30	<i>small</i>

Tabla 5.1: Configuraciones variando dos parámetros de tres

En las gráficas que se presentan en las siguientes subsecciones la curva se identifica con una notación que representa la cantidad de pares a desahogar, el tiempo entre desahogos y el tamaño de la pieza. Por ejemplo en la curva

31-15-S, 31 corresponde con el número de pares a desahogar tres por mejor velocidad y uno al azar, los dos dígitos que siguen significan 15 segundos como tiempo entre desahogos y por último la letra *S* corresponde con el tamaño de pieza *small*.

### Evolución del porcentaje de descargas con respecto al tiempo

En las gráficas 5.6, 5.7, 5.8 y 5.9 se presentan las curvas correspondientes a 25, 50, 75 y 100 nodos respectivamente para las tres configuraciones mostradas en la tabla 5.1 y el protocolo original.

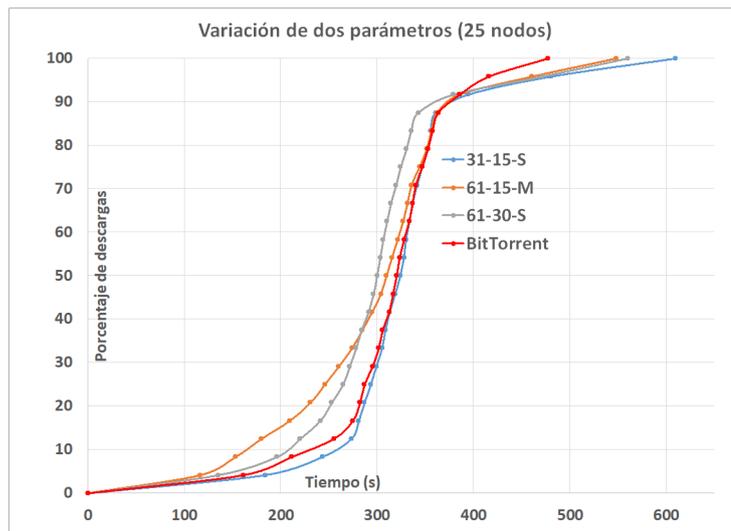


Figura 5.6: Variación de dos parámetros en el protocolo BitTorrent (25 nodos)

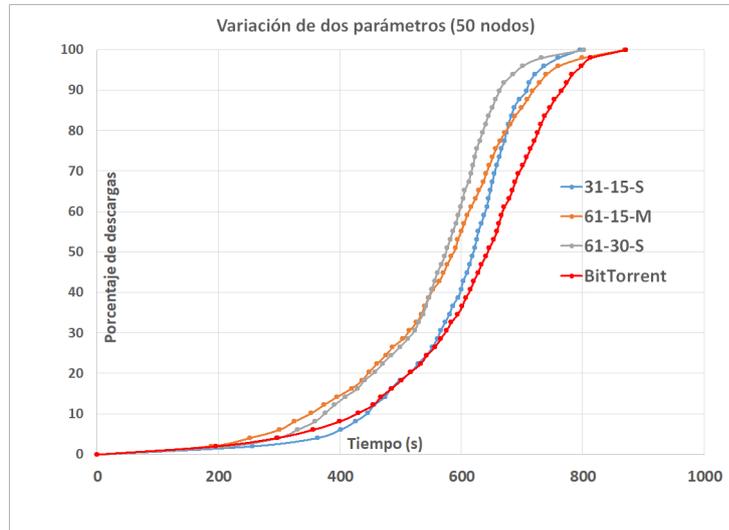


Figura 5.7: Variación de dos parámetros protocolo BitTorrent (50 nodos)

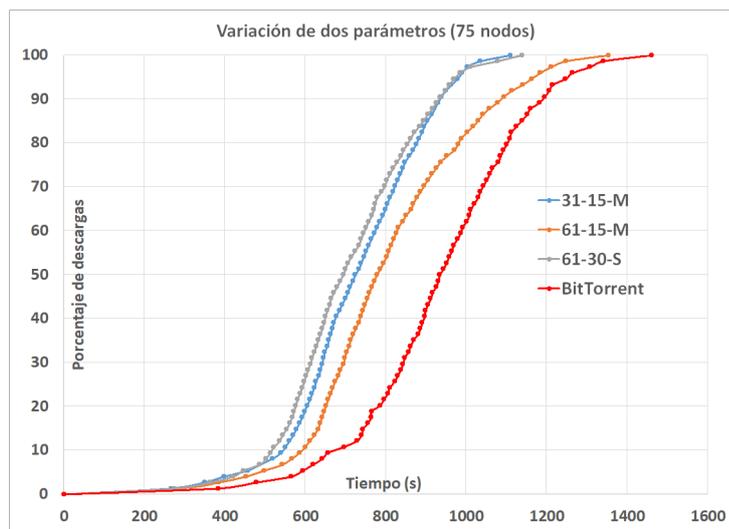


Figura 5.8: Variación de dos parámetros protocolo BitTorrent (75 nodos)

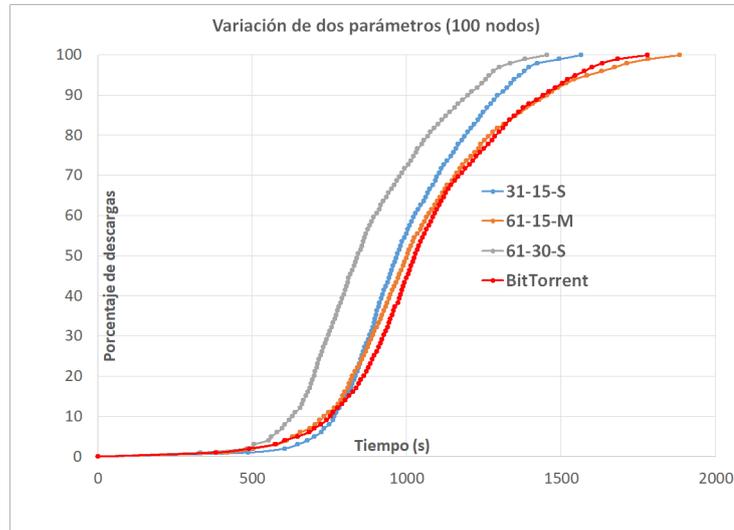


Figura 5.9: Variación de dos parámetros protocolo BitTorrent (100 nodos)

En la gráfica 5.6 correspondiente a 25 nodos se muestra que la curva gris (61-30-S) se encuentra por debajo de la curva naranja (61-15-M) hasta 39 % del total de las descargas, en un tiempo de 28 segundos, a partir de ahí la curva gris está por encima hasta aproximadamente el 90 % de descargas, ahí las tres curvas se encuentran muy juntas.

En la gráfica 5.7, correspondiente a 50 nodos, no se observan diferencias considerables entre la curva gris (61-30-S) y la curva naranja (61-15-M), al 40 % de descargas, a los 550 segundos, se observa que la curva gris tiene una ligera mejora.

En la gráfica 5.8 correspondiente a 75 nodos se muestra que la curva gris (61-30-S) se encuentra ligeramente por encima de la curva azul (31-15-M), al llegar a 85 % de descargas completadas la curva azul y la gris se traslapan.

En la gráfica 5.9 correspondiente a 100 nodos se muestra que la curva gris (61-30-S) se encuentra en todo momento por encima de la curva azul (31-15-S) llegando a una ganancia máxima de 38.46 %.

Las gráficas anteriores muestran que la curva gris correspondiente a la configuración seis pares a desahogar por mejor velocidad uno al azar, 30 segundos como tiempo entre desahogos y tamaño de pieza *small* tiene una mejora con respecto al protocolo BitTorrent original observándose más notoria conforme crece el número de elementos de la red.

### Tiempo promedio de descarga

En la gráfica 5.10, que muestra el tiempo promedio de descarga, se presentan las curvas correspondientes a: el protocolo BitTorrent original (curva roja), la primera configuración propuesta cambiando los tres parámetros fundamentales del protocolo (curva naranja) y cada una de las tres configuraciones que se presentaron en la tabla 5.1 variando solo dos de los tres parámetros. La curva café correspondiente con 6 pares a desahogar uno al azar, 30 segundos como tiempo entre desahogos y tamaño de pieza *small* es la que tiene un mejor desempeño.

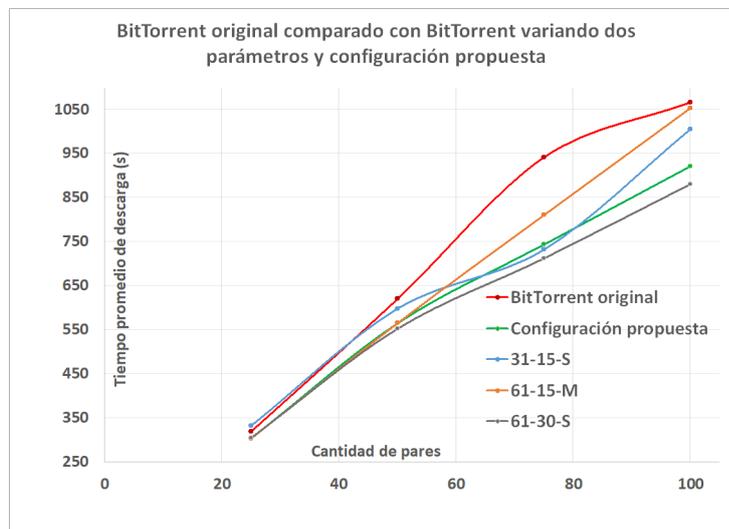


Figura 5.10: Curvas correspondientes al protocolo BitTorrent usando como parámetros: los valores originales, los valores identificados en el capítulo 4 y las combinaciones de valores listadas en la tabla 5.1

Con estos experimentos corroboramos que, en efecto, existe una configuración en BitTorrent con una mejora con respecto a la configuración original y a la que considera los valores encontrados en el capítulo precedente. En la figura 5.11, que muestra el tiempo promedio de descarga, se presenta el protocolo BitTorrent original (curva roja) comparado con la mejor configuración encontrada (curva café). La tabla 5.2 resume el porcentaje de mejora del protocolo BitTorrent con esa configuración: seis pares desahogados por mejor velocidad y uno al azar, 30 segundos como el tiempo entre desahogos y tamaño de pieza *small* con respecto al protocolo BitTorrent original. La mejora más alta se presenta para una configuración de red de 75 nodos con un 24% mientras que la más baja se presenta para el tamaño de red de 25 nodos con tan solo el 4.7%.

Para llenar la tabla 5.2 con los datos presentados el procedimiento adoptado fue el siguiente: en la figura 5.11 se ubican en el eje x los puntos correspondientes a 25, 50, 75 y 100 nodos, para cada uno de ellos se obtiene la diferencia y se toma el punto de la curva roja (BitTorrent original) como el 100 %.

Nodos	25	50	75	100
Porcentaje de mejora	4.7 %	10.1 %	24.4 %	17.4 %

Tabla 5.2: Porcentaje de mejora de la configuración 61-30-S con respecto al protocolo original

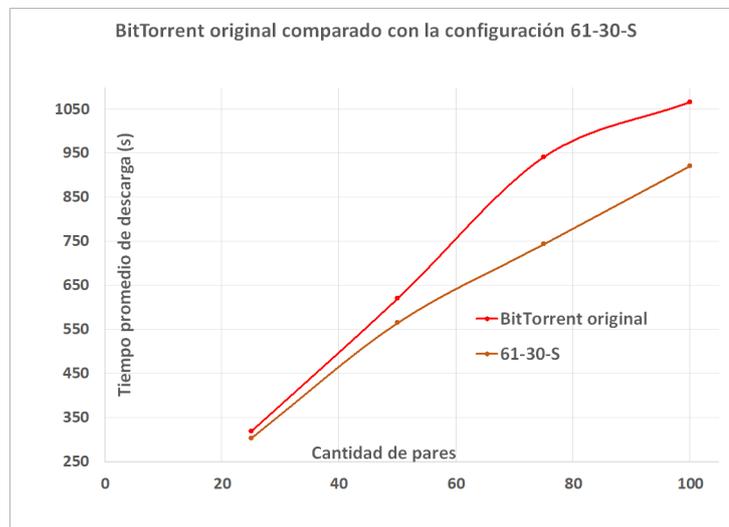


Figura 5.11: Curvas correspondientes al protocolo BitTorrent y el protocolo con configuración seis pares desahogados por mejor velocidad y uno al azar, 30 segundos como el tiempo entre desahogos y tamaño de pieza *small*.

## Capítulo 6

# Conclusiones y perspectivas de investigación

En este trabajo de investigación se ubicaron y clasificaron las estrategias utilizadas en las adaptaciones del protocolo BitTorrent al entorno ad hoc. Se identificaron los siguientes tres parámetros fundamentales del protocolo: cantidad de pares a desahogar, tiempo entre desahogos y tamaño de la pieza intercambiada, además se encontró un nicho de oportunidad: evaluar el desempeño de BitTorrent al utilizar diferentes valores en estos parámetros.

El objetivo del trabajo fue proponer una mejora al protocolo BitTorrent operando en redes ad hoc, para alcanzarlo se evaluó el protocolo configurándolo con diferentes valores en los parámetros para llegar así a encontrar la mejor combinación de valores entre los estudiados.

Al variar cada parámetro por separado se observó que utilizando una configuración de seis pares a desahogar por mejor velocidad y uno al azar, 15 segundos como tiempo entre desahogos, y un tamaño de pieza de 64 KB se obtenía una mejora con respecto a la configuración original del protocolo. Después se realizaron experimentos donde se variaron sólo dos de esos tres valores candidatos y se observó una mejora aún mayor en ambas medidas de desempeño, la configuración que presenta el mejor rendimiento es la siguiente: seis pares a desahogar por mejor velocidad y uno al azar, tiempo entre desahogos de 30 segundos y tamaño de pieza de 64 KB. Esta configuración presenta una mejora en el tiempo promedio de descarga del 4.7% para una red de 25 nodos, del 10.1% para 50 nodos, del 24.4% para 75 nodos y del 17.4% para 100 nodos.

El aporte principal de este trabajo es que es el primero en proponer y validar el conjunto de parámetros que mejoran el desempeño de BitTorrent en redes ad hoc. Siendo este un pequeño avance en el estudio de la adaptación de BitTorrent a este tipo de infraestructura.

Como trabajo futuro se propone investigar el desempeño de la configuración propuesta cuando existe movilidad de los nodos.

# Referencias

- [1] B. Cohen. Incentives Build Robustness in BitTorrent. 1st Workshop on Economics of Peer-to-Peer Systems. Enero de 2003.
- [2] E. Andrés Marcelo. Distribución de contenidos en redes MANET utilizando el paradigma P2P. Tesis de maestría. Universidad Autónoma Metropolitana - Unidad Iztapalapa, Marzo de 2016.
- [3] S. Rajagopalan *et al.* A Cross-layer Decentralized BitTorrent for Mobile Ad hoc Networks. En: 2006 Third Annual International Conference on Mobile and Ubiquitous Systems: Networking Services. Julio de 2006, páginas 1-10.
- [4] M. Sbai *et al.* Adapting BitTorrent to Wireless Ad Hoc Networks. En: Proceedings of the 7th International Conference on Ad-hoc, Mobile and Wireless Networks. ADHOC-NOW '08. Sophia-Antipolis, France: Springer-Verlag, Septiembre de 2008, páginas 189-203. isbn: 978-3-540-85208-7.
- [5] M. Sbai *et al.* P2P Content Sharing in Spontaneous Multi-hop Wireless Networks. En: 2010 Second International Conference on COMMunication Systems and NETWORKS (COMSNETS 2010). Enero de 2010, páginas 1-10.
- [6] S. Kap *et al.* P2P Content Sharing over MANET. En: 2009 Tenth International Conference on Mobile Data Management: Systems, Services and Middleware. Mayo de 2009, páginas 661-665.
- [7] N. Quental *et al.* Exploiting Application-layer Strategies for Improving BitTorrent Performance over MANETs. En: 2011 IEEE Consumer Communications and Networking Conference (CCNC). Enero de 2011, páginas 691-692.

- 
- [8] E. Casini *et al.* An Experimental Evaluation of Data Distribution Applications in Tactical Networks. En: 2016 IEEE Military Communications Conference. Noviembre 2016, páginas 1267-1272.
- [9] C. K. da Silva Rodrigues *et al.* Efficient BitTorrent-Like Algorithms for Interactive On-Demand Multimedia Streaming over MANETs. En: 2018 24th Brazilian Symposium on Multimedia and the web, Octubre de 2018, páginas 29-36.
- [10] M. Rethfeldt *et al.* *MeNTor: A wireless-mesh-network-aware data dissemination overlay based on BitTorrent*. En: 2018 Ad Hoc Networks, Octubre de 2018, páginas 146-159.
- [11] «OMNET++» [En línea]. Disponible en: <https://omnetpp.org/intro> [Accedido: 11-abril-2022]
- [12] «INET Framework» [En línea]. Disponible en: <https://inet.omnetpp.org/Introduction.html> [Accedido: 11-abril-2022]
- [13] P. Evangelista *et al.* EbitSim: An Enhanced BitTorrent Simulation Using OMNeT++ 4. En: 2011 IEEE 19th Annual International Symposium on Modelling, Analysis, and Simulation of Computer and Telecommunication Systems. Julio de 2011, páginas 437-440.



Casa abierta al tiempo

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA METROPOLITANA

# ACTA DE EXAMEN DE GRADO

No. 00096

Matrícula: 2173802314

Diseño de estrategias para la mejora del desempeño del protocolo BitTorrent en redes ad hoc

Con base en la Legislación de la Universidad Autónoma Metropolitana, en la Ciudad de México se presentaron a las 10:00 horas del día 26 del mes de mayo del año 2022 POR VÍA REMOTA ELECTRÓNICA, los suscritos miembros del jurado designado por la Comisión del Posgrado:

- DR. JAVIER GOMEZ CASTELLANOS
- DR. MICHAEL PASCOE CHALKE
- DR. OSCAR ARANA HERNANDEZ
- DRA. ELIZABETH PEREZ CORTES



*Juan Alberto A.S.*  
JUAN ALBERTO ALCANTARA SOTELO  
ALUMNO

Bajo la Presidencia del primero y con carácter de Secretaria la última, se reunieron para proceder al Examen de Grado cuya denominación aparece al margen, para la obtención del grado de:

MAESTRO EN CIENCIAS (CIENCIAS Y TECNOLOGIAS DE LA INFORMACION)

DE: JUAN ALBERTO ALCANTARA SOTELO

y de acuerdo con el artículo 78 fracción III del Reglamento de Estudios Superiores de la Universidad Autónoma Metropolitana, los miembros del jurado resolvieron:

Agrobar

Acto continuo, el presidente del jurado comunicó al interesado el resultado de la evaluación y, en caso aprobatorio, le fue tomada la protesta.

REVISÓ



MTRA. ROSALIA SERRANO DE LA PAZ  
DIRECTORA DE SISTEMAS ESCOLARES

DIRECTOR DE LA DIVISIÓN DE CBI



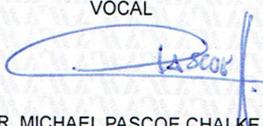
DR. ROMAN LINARES ROMERO

PRESIDENTE



DR. JAVIER GOMEZ CASTELLANOS

VOCAL



DR. MICHAEL PASCOE CHALKE

VOCAL



DR. OSCAR ARANA HERNANDEZ

SECRETARIA



DRA. ELIZABETH PEREZ CORTES