

# CAPÍTULO 1

---

## Introducción

Durante los últimos años se ha experimentado el constante crecimiento de las Redes Nacionales para la Investigación y Educación, NRENs (National Research and Education Networks). Estas redes proveen la conectividad necesaria para que investigadores y académicos puedan colaborar conjuntamente en su trabajo. Diferentes países han optado por la interconexión de sus centros de investigación los cuales, en la mayoría de los casos, se encuentran distribuidos a lo largo y ancho de dichos países [1,2].

¿Pero por qué no interconectar dichas instituciones y centros a través de la red de Internet? La respuesta radica en que las NRENs son redes independientes de los grandes servidores de Internet y que no se ven influenciadas por las presiones y demandas comerciales sobre el sector de las telecomunicaciones [1]. Esto ocasiona que las instituciones educativas no dependan del ancho de banda, de los servicios ofrecidos y de las tarifas de estos servidores. De esta manera se crea una red no comercial destinada exclusivamente a la investigación y educación.

Por otro lado, el constante crecimiento de la demanda de un gran ancho de banda y la capacidad para correr grandes cantidades de procesos ha obligado, u obligó, al nacimiento de los llamados GRIDs (o cúmulos de computadoras y periféricos geográficamente distribuidos) [3]. Este constante crecimiento también se ha visto en múltiples proyectos de investigación en física, astronomía, bio-informática, arreglo de sensores, etc., los cuales requieren conexiones de muy alta velocidad y de un gran ancho de banda para la transferencia de largos volúmenes de información.

En este ámbito, el GRID ofrece grandes beneficios para aplicaciones que necesitan ser corridas o ejecutadas de una manera paralela, ofreciendo la posibilidad de ejecutar aplicaciones computacionales intensivas en grandes arreglos de redes. Por lo tanto, el GRID hace accesible el análisis computacional intenso que necesitan científicos e investigadores para resolver grandes problemas que serían demasiado para las supercomputadoras convencionales [16].

Dichos GRIDs han favorecido la capacidad de compartir poder de almacenamiento, procesos, ancho de banda, comunicaciones, software, equipos, etc, de diferentes computadoras, servidores, equipos, etc., que se encuentren conectados a él. Esto conlleva a crear una computadora virtual, bastante poderosa creada de la conexión de sistemas heterogéneos compartiendo varias combinaciones de recursos [21].

Aprovechando estas ventajas, varios centros de investigación, universidades y escuelas han empezado a implementar GRIDs sobre sus redes educativas. Para implementar un GRID es necesario disponer de sistemas de transmisión que presenten un gran ancho de banda y poca latencia para así interconectar de manera eficiente los procesadores que conforman el cúmulo computacional. Siendo las redes ópticas de transporte la principal solución para implementarlos[29].

Y es por esto que los rápidos avances producidos en las tecnologías ópticas de transporte como Wavelength Division Multiplexing, WDM, junto con la creciente demanda de servicios de alta velocidad y gran ancho de banda, están provocando cambios sustanciales en las arquitecturas de las redes ópticas.

Por lo tanto, el avance tecnológico de los diferentes dispositivos ópticos utilizados para la implementación de estas redes se vuelve de suma importancia, ya que constituyen las bases y cimientos de éstas para su implementación.

Mientras que en 1980 las capacidades máximas de transmisión eran de 34 a 45 Mbps por fibra, hoy en día el avance tecnológico de estos dispositivos ha permitido alcanzar velocidades comerciales de hasta 100 Gbps y hasta 160 canales multiplexados sobre una sola fibra, llegando a velocidades de Tbps por fibra.

Así, la tecnología WDM se está expandiendo progresivamente desde el núcleo de las redes ópticas de alta velocidad, hacia las redes metropolitanas y de acceso. Y todo ello provocado por el éxito alcanzado por las soluciones WDM de largo alcance que han permitido un aumento en la capacidad de las redes ópticas de transporte.

En este contexto, la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM), la Universidad Autónoma Metropolitana-Iztapalapa (UAM-I) y el Centro de Investigaciones y Estudios Avanzados (CINVESTAV), instituciones educativas mexicanas localizadas en el Valle de México, planean la interconexión de sus centros de Supercómputo, para así crear un cúmulo computacional con gran potencia de cálculo único en México (alcanzando los 5,000 GFLOP/S por nodo). Debido a las exigencias del proyecto, los grupos de trabajo de dichas instituciones han determinado que dicha interconexión se realizará empleando tecnología WDM a velocidades de 2.5 y 10 Gbps sobre fibra G.652 [27,28,29].

En un proyecto de semejante magnitud, se hace clara la necesidad de realizar un siguiente estudio, donde se realicen una serie de pruebas teóricas y experimentales, con equipos ópticos WDM comerciales, para obtener una serie de gráficas que proporcionen las características y parámetros necesarios que deberán presentar los equipos WDM, con el fin de garantizar el correcto funcionamiento del sistema. Aspectos mismos que se cubren en esta tesis.

En general, en este trabajo se analizan las limitaciones que imponen la dispersión, la atenuación y los efectos no-lineales a la transmisión de señales ópticas WDM sobre los futuros enlaces de la Delta. De igual forma, se realizan una serie de pruebas experimentales con equipos ópticos WDM de las empresas Optelian, Padtec y NEC, con la finalidad de obtener las características que deberán presentar los equipos de las empresas que participen en la licitación de dicho proyecto.

## **1.1. Redes educativas con base en el uso de fibra óptica en el mundo**

Como se ha mencionado anteriormente, NRENs a lo largo del mundo no solo han optado por la utilización de sistemas de comunicaciones por fibra óptica, sino también por la creación de GRIDs en dichas redes. Estos avances han permitido a estos países beneficiarse de la múltiples ventajas de estos sistemas e introducirse a proyectos científicos de gran importancia que requieren de altas capacidades y altas tasas de transmisión.

A continuación se muestran algunas NRENs que han optado por esta implementación, así como sus diferentes características, con el fin de dar un panorama del avance que se tiene en otros países comparado con el de México.

### 1.1.1. Francia, RENATER

RENATER es la red nacional de investigación y educación en Francia, fue contemplada a principios de los años 90 con el fin de conectar las universidades y centros de investigación que se encontraban distribuidos a través de todo el país. Hoy en día, más de 1000 sitios de investigación, tecnología y educación (vía campus, redes metropolitanas o regionales) están conectados a RENATER [4].

Su infraestructura consiste de links nacionales los cuales interconectan 32 puntos en Francia. Cabe destacar que también tiene conexión con otras redes de centros de investigación y educación en Europa y el mundo a través de la infraestructura de GÉANT<sup>1</sup>.

Con el fin de poder proveer circuitos de alta capacidad, RENATER está basada en fibras ópticas oscuras<sup>2</sup> con equipos DWDM soportando velocidades de hasta 10 Gbps. Su principal fortaleza está en poder dedicar lambdas (canales) específicas para clientes involucrados en proyectos de investigación, los cuales requieran de niveles de transferencia de datos elevados. Entre algunos servicios que RENATER ofrece están: IPv6, IP6 multicast, QoS, videoconferencias.

En el caso de Francia se ha implementado un GRID llamado Grid'5000 [5], el cual reúne 10 sitios distribuidos geográficamente en Francia e incluso un sitio en Porto Alegre, Brasil [6], combinando 5000 procesadores. Los planes actuales son desarrollar una plataforma física constituida de 10 clusters, cada uno con conexión de 100 a 1000 computadoras, que se conectarán a RENATER a 10Gb/s.

El principal objetivo del GRID es proveer a investigadores en Francia una plataforma experimental para sus investigaciones totalmente reconfigurable para cada experimento. Esto quiere decir que el ancho de banda a utilizar así como la topología lógica de la red pueden cambiar de acuerdo a las necesidades que requiera cada experimento.

### 1.1.2. Canadá, CAnet 4

En Canadá, CAnet 4 es la sucesora de CAnet 3, la cual fue desarrollada por CANAIRE<sup>3</sup> en 1998 como la primer NREN óptica a nivel mundial [7]. Esta red fue creada debido al gran crecimiento de tráfico en la red, el crecimiento de aplicaciones que requieren de gran ancho de banda y la planeación de proyectos GRID. Creándose de esta manera una nueva red capaz de soportar investigaciones de punta en Canadá.

CAnet 4 interconecta las distintas redes de investigación locales y con ello, las universidades, centros de investigación, laboratorios de investigación del gobierno, escuelas y redes internacionales como GEANT2, RedCLARA<sup>4</sup>, etc.

Al igual que RENATER, CAnet 4 es capaz de soportar asignación dinámica de los recursos de la red (ancho de banda ajustable a necesidades) a los usuarios y permitir así una mayor habilidad a los usuarios para desarrollar aplicaciones basadas en red. Casi todas sus conexiones punto a punto tienen velocidades de 10 Gbps.

En el 2006 se añadió un Optical Add-Drop Multiplexer reconfigurable (ROADM)<sup>5</sup> sobre la red DWDM, soportando hasta 72 longitudes de onda a una velocidad de 10 Gbps cada una.

---

<sup>1</sup> Geánt2 es la red académica que proporciona servicio a la comunidad educativa e investigación europea.

<sup>2</sup> Fibras ópticas que no están en utilización todo el tiempo y solo se utilizan bajo demanda.

<sup>3</sup> Canadian Advanced Network and Research for Industry and Education.

<sup>4</sup> Red de Internet avanzada que conecta las distintas NRENs en América Latina.

En el caso de Canadá se ha implementado el GridX1 [8], el cual es un proyecto que permite a investigadores de las universidades de Alberta, Calgary, Simon Fraser y Victoria trabajar conjuntamente con el GRID más grande del mundo, el Large Hadron Collider Grid Project (LCG).

El LCG es un GRID global que se implementó con la finalidad de analizar las grandes cantidades de información producida por el acelerador de partículas ubicado en Europa, particularmente en Ginebra y Suiza. El GridX1 aprovecha la infraestructura de CANet 4, haciéndola parecer como un solo recurso al GRID LHC [9].

Así entonces, Canadá cuenta con una red de clase mundial que es capaz de soportar aplicaciones GRID gracias a las grandes velocidades y al gran ancho de banda de CANet 4.

### **1.1.3. Chile, Red Universitaria Nacional**

En el caso de Chile, existe la red REUNA, Red Universitaria Nacional [10], la cual es una iniciativa de colaboración universitaria que ha conseguido contar con la única infraestructura tecnológica de redes avanzadas de naturaleza académica, dedicada a la investigación y desarrollo en Chile.

Hoy la red académica chilena utiliza sus conexiones para trabajar sobre dos líneas de acción orientadas a sus instituciones socias: desarrollar, operar y administrar las redes avanzadas de alta velocidad y desarrollar, fomentar y apoyar la gestión de proyectos de investigación y desarrollo.

GREUNA es la tercera versión de la red nacional de investigación y educación, sus antecesoras fueron REUNA y REUNA2. El paso de REUNA2 a GREUNA permitió migrar de una red ATM a una con tecnología Ethernet/IP pura.

Fue implementada a finales del 2006 gracias a la adquisición e instalación de nuevos equipos capaces de sostener velocidades de Gbps y presta servicios avanzados como: QoS (Calidad de Servicio), Multicast e IPv6, entre otros.

Dado que todos los accesos de las instituciones miembros de REUNA a la troncal son mediante fibra óptica, el cambio de transporte y de capacidades se dio de manera natural, pudiendo pasar de una conexión ATM STM-1 (155 Mbps) a una conexión de Gigabit Ethernet 1 Gbp.

Son más de 15 Universidades a lo largo del país que se benefician de esta red. REUNA se conecta a RedCLARA a 1Gbps, teniendo así conexión con las diferentes NRENs de Latino America y el mundo.

## **1.2. El caso de México**

En nuestro país la asociación que maneja la Red Nacional de Educación e Investigación es la Corporación Universitaria para el Desarrollo de Internet (CUDI) [11].

CUDI es el organismo que maneja el proyecto de la red Internet 2 en nuestro país y busca impulsar el desarrollo de aplicaciones que utilicen esta red, fomentando la colaboración en proyectos de investigación y educación entre sus miembros.

---

<sup>5</sup> Elemento de red capaz de bajar o subir canales de o hacia la red.

La construcción de la red Internet 2 en México se basó en la voluntad de las universidades líderes del país de absorber el costo de instalar y operar la red y su interconexión a las redes universitarias de alta velocidad en Estados Unidos y Canadá. Apoyándose en este compromiso, Teléfonos de México (TELMEX) y Axtel aportaron a la red CUDI 8,000 kilómetros de red dorsal de alta capacidad. A cambio de esta donación se estableció que la red debe de ser exclusivamente de carácter educativo o de investigación. Actualmente la red de CUDI se integra por las principales universidades y centros de investigación del país.

La Figura 1.1 muestra la topología de la red donde se observan las diferentes conexiones a lo largo del país, así como hacia redes internacionales como CLARA y Abilene.

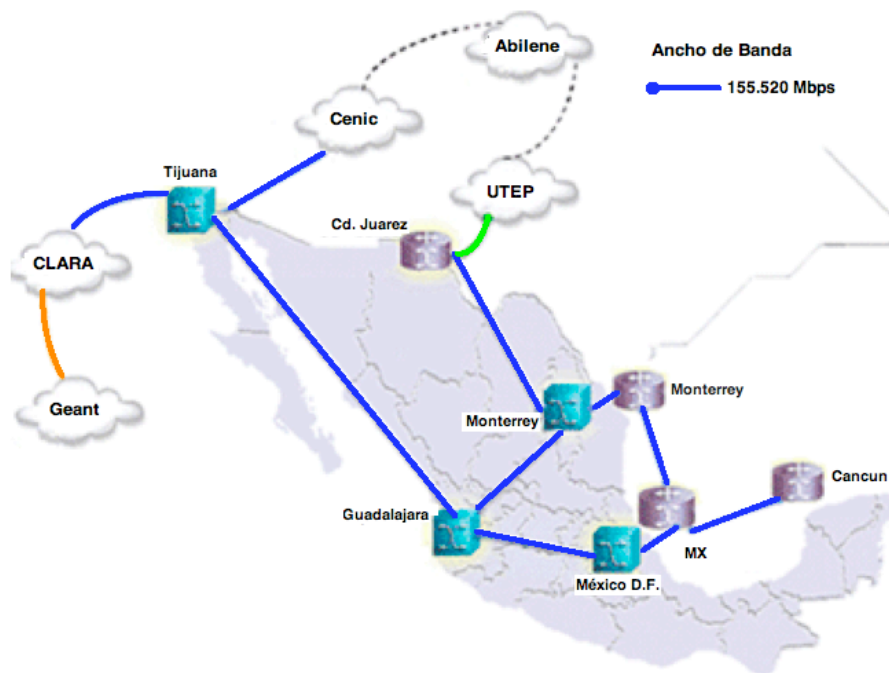


Figura 1.1. Conexiones de la red CUDI en el país y hacia redes Internacionales.

En la actualidad esta red cuenta con una infraestructura de más de 8,000 kilómetros de enlaces de alta capacidad que operan a una velocidad de 155 megabits por segundo. Esta red dorsal abarca todo el territorio nacional. Cuenta además con tres enlaces de la misma velocidad que permiten la interconexión con las principales redes académicas de Estados Unidos y del resto del mundo. A través de estos enlaces tiene la posibilidad de tener acceso con más de 45 redes similares de Europa, Asia, Oceanía y América Latina que interconectan a más de 3,000 universidades y centros de investigación.

La red CUDI maneja protocolos avanzados como son QoS, Multicast, Ipv6, H.323, MPLS, y HDTV y cuenta con su propio centro de operación, localizado en la UNAM, lo que permite que se corran aplicaciones críticas en todas las ramas de la ciencia.

### 1.3. Delta Metropolitana de Supercómputo

Como se ha visto en la sección 1.2, la red de CUDI no cuenta con la infraestructura correcta para la implementación de un GRID de supercómputo. Mientras que otros países en Latinoamérica cuentan con redes educativas avanzadas que soportan velocidades de hasta 10 Gbps [23], nuestro país solo cuenta con una red ATM + IP que utiliza la infraestructura de TELMEX a velocidades máximas de 155 Mbps.

Diferentes países en Latinoamérica están desarrollando GRIDs sobre sus redes educativas, como es el caso de Colombia [24], que planea desarrollar “GRID Colombia” sobre su red nacional de educación RENATA. Así mismo, están implementando redes WDM como es el caso de Brasil, que cuenta ya con tecnología DWDM y velocidades de 10 Gbps en algunas de sus conexiones.

También existen proyectos de colaboración entre Europa y Latinoamérica como lo es EELA, el cual busca crear una red de colaboración que permita el surgimiento de tecnologías GRID en Latinoamérica. Posibilitando la colaboración de países latinoamericanos con europeos en proyectos de “e-infraestructura” e “e-Ciencia” [25].

De esta manera se observa la necesidad del GRID Metropolitano que permita colaborar con proyectos internacionales como el CERN (European Organization for Nuclear Research ), o proyectos nacionales como el observatorio de rayos gama (HAWC) ubicado en Puebla, Veso (Virtual Earth-Sun Observatory), simuladores de terremotos (3d Parallel Elastodynamic Modeling of Large Subduction Earthquakes), etc. Proyectos que necesitan el procesamiento de una gran cantidad de información y que actualmente no contamos con una infraestructura que lo permita [26].

La Delta Metropolitana de Supercómputo es un proyecto elaborado por tres de las instituciones de educación pública más grandes del país, UNAM, UAM y CINVESTAV, y tiene como principal objetivo la creación de un laboratorio de cómputo de alto rendimiento que permita abordar y resolver de una manera más sencilla los problemas científicos más demandantes, mediante la creación de un GRID de alta capacidad ubicado en la zona metropolitana de la Ciudad de México [12,13]. El cual correrá sobre una red de fibra óptica propia empleando tecnología WDM.

De esta manera se aprovecharán las múltiples ventajas de esta tecnología, logrando una optimización de recursos y una infraestructura abierta que asegure la transmisión de cualquier tipo de servicio y protocolo de comunicación.

Así, las tres instituciones mexicanas, con el apoyo del CONACyT, podrán compartir recursos de sus centros de Cómputo de Alto Rendimiento, con el objetivo de que científicos, principalmente del área metropolitana, tengan acceso a estas herramientas para desarrollar proyectos de investigación científica.

Con dicho desarrollo se prevé que nuestro país se posicione en el lugar 99 del Top 500 (ranking de las supercomputadoras más rápidas de mundo) y como la número uno de América Latina [14].

Se busca tener conexión directa entre los 3 nodos mediante fibra óptica oscura, la cual será instalada por los túneles de la red del metro (Fig.1.2) soportando velocidades de hasta 10 Gbps<sup>6</sup>.

Como su nombre lo indica, se trata de una delta o anillo que unirá a las tres instituciones que contarán con el debido equipo WDM. La Figura 1.2 muestra la topología física de la red donde se puede observar la ubicación de cada uno de los nodos, así como las estaciones del sistema de transporte colectivo por donde ingresarán los cables de fibra óptica. Así mismo, en el cuadro 1.1 se muestran las distancias correspondientes a cada uno de los tramos de fibra óptica G.652 que deberán ser instalados [27,29].

---

<sup>6</sup> En un principio 4 canales a 2.5 Gbps y un canal a 10 Gbps.

Los detalles de cada uno de estos enlaces se pueden encontrar en la referencia 27 de este capítulo, donde se muestran , entre otros cálculos, los valores de atenuación y dispersión de cada enlace, así como el presupuesto de potencia de estos.



Figura 1.2. Topología física de Delta Metropolitana donde se muestra la ubicación de los 3 nodos y las rutas a seguir por los túneles del STC.

Cuadro 1.1. Longitud de los tramos que conforman la red.

LÍNEA N°	DE - A	METROS
L9	CM- CHABACANO	3,575
L8	CHABACANO – SNT ANITA	2,075
L3	CM - UNAM	12,215
L3	CM – LA RAZA	8,500
L5	LA RAZA - POLITECNICO	4,330
L8	SNT ANITA – UAM-I	11,460
L4	SNT ANITA - CONSULADO	7,309
L5	CONSULADO – LA RAZA	3,490
INTERSECCIÓN ENTRE LINEAS	L3 – L9	2,500
INTERSECCIÓN ENTRE LINEAS	L9 – L8	2,500
INTERSECCIÓN ENTRE LINEAS	L3 – L5	2,500
TRAMO DE ÚLTIMA MILLA	TRAMO DE ÚLTIMA MILLA	2,500
TRAMO DE ÚLTIMA MILLA	TRAMO DE ÚLTIMA MILLA	2,500
TRAMO DE ÚLTIMA MILLA	TRAMO DE ÚLTIMA MILLA	2,500

Algunos de los proyectos y/o aplicaciones que correrán mediante esta red son:

- Observatorios Virtuales.
- HAWC (High Altitude Water Cherenkov)<sup>7</sup>.
- Física de altas energías CERN (European Organization for Nuclear Research): LHC (Large Hadron Collider).
- LNGSec (Laboratorio Nacional de GRID).
- Entre otros.

## 1.4. GRID Computacional

Anteriormente se ha hablado de la implementación de un GRID para el proyecto de la Delta y por parte de varias redes educativas, sin embargo necesitamos entender primero ¿Qué es un GRID?, ¿Cómo está constituido? y ¿Cuáles son las ventajas de su utilización? Las respuestas a estas preguntas se presentan a continuación siendo necesarias para entender la importancia de implementar esta tecnología en nuestro país y los múltiples beneficios que esto conlleva.

### 1.4.1. ¿Qué es un GRID?

Actualmente la ciencia ha avanzado notablemente y para su buen desarrollo se requiere que la tecnología complemente estos avances de manera que los procesos de sistemas computacionales sean más ágiles, es por eso que se necesita una tecnología que brinde más rapidez en la obtención de resultados. En los últimos años han surgido sistemas de alto rendimiento, perfeccionándose de tal manera que permiten cubrir las necesidades de diversos usuarios. Estos sistemas varían en la manera que utilizan tanto procesadores como memoria y en la forma de interconectarlos. Una solución a esta gran demanda es la implementación de sistemas distribuidos [15].

El termino GRID fue concebido a mediados de los 90s para denotar una infraestructura de cómputo distribuida para ciencia e ingeniería avanzadas y aparece como consecuencia de su analogía con la red de energía eléctrica (*Electric Power GRID*): nos podemos "enchufar" al GRID para obtener potencia de cálculo sin preocuparnos de dónde viene, igual que hacemos cuando enchufamos un aparato eléctrico.

De una forma concreta, un GRID es un sistema de hardware y software el cual integra una colección de componentes de sistemas distribuidos (cómputo, almacenamiento, dispositivos y aplicaciones específicas) haciéndolos parecer al usuario como un único y largo sistema computacional [16].

La forma en la que se logra esto es mediante la utilización de un software, en este caso un *middleware*<sup>8</sup>, que permite coordinar y compartir los recursos, las aplicaciones, los datos, el almacenamiento y los recursos de red, entre organizaciones dinámicas y distribuidas geográficamente.

---

<sup>7</sup> Observatorio de rayos gamma que estará en funcionamiento en México a partir de 2010.

<sup>8</sup> Software de conectividad que ofrece un conjunto de servicios que hacen posible el funcionamiento de aplicaciones distribuidas sobre plataformas heterogéneas.



Las funciones principales que debe realizar son las siguientes [17]:

- Coordinar los recursos que no están sujetos a un control centralizado. Un GRID Computacional integra y coordina recursos y usuarios que están en diferentes dominios, diferentes unidades administrativas, etc.
- Utiliza estándares abiertos, protocolos de propósitos generales e interfaces. Un GRID es construido con múltiples propósitos e interfaces que están dirigidos fundamentalmente a la autenticación, autorización, descubrimiento de recursos y acceso a los recursos. De otra manera se estaría trabajando con una aplicación específica para un sistema.
- Un GRID computacional utilizará los recursos que lo constituyen, los cuales deberán ser usados de una manera coordinada para entregar servicios de calidad relacionados, por ejemplo: tiempo de respuesta, disponibilidad, seguridad y rendimiento al procesar, además de la asignación de los múltiples tipos de recursos para satisfacer las complejas exigencias de los usuarios, de modo que la utilidad del sistema combinado sea perceptiblemente mayor que la suma de sus piezas.

Como se ha mencionado antes, el GRID necesita soportar grandes cantidades de información, las cuales pueden sobrepasar las capacidades de las redes eléctricas actuales. El uso de fibras ópticas y de infraestructura WDM para su creación ofrecen la gran ventaja de que se cuenta con un gran ancho de banda disponible y grandes velocidades de transmisión, permitiendo así que múltiples disciplinas se beneficien de éste para correr sus aplicaciones. Por ejemplo, Física de partículas, debido a sus grandes colaboraciones internacionales y experimentos que requieren y generan grandes cantidades de datos, situación que requiere de redes capaces de soportar el procesamiento y el análisis de Petabytes por año mediante recursos de computación distribuida.

Esto se logra mediante la asignación de lambdas a los clientes, formando así caminos ópticos (optical paths) entre ellos y los recursos del GRID. Maximizando de esta manera la utilización del ancho de banda de la red y proveyendo a cada cliente con una conexión virtual dedicada y velocidades de transmisión fijas, dependiendo de sus necesidades. Con la asignación de lambdas se le permite a cada cliente construir o escoger la topología adecuada para su aplicación así como manejar su propio tráfico.

Sin embargo, esto requiere de un sistema (control de usuario) que sea capaz de manejar y administrar los recursos, así como la asignación de dichas lambdas. Este control de usuario permite una rápida y flexible asignación de servicios, mientras que la red óptica ofrece un mecanismo de transporte de alto desempeño [18].

Por lo que las redes ópticas pueden ser vistas como "recursos de red" que son ofrecidos al GRID como cualquier otro recurso, como procesamiento o dispositivos de almacenamiento.

En redes ópticas algunos de los recursos pueden incluir una fibra, una longitud de onda o canal, tasas de transmisión, interfaces, etc., los cuales son dependientes de cada aplicación.

#### 1.4.2. ¿Cómo está constituido un GRID?

La arquitectura básica de un GRID se muestra en la Figura 1.3, donde el GRID middleware provee transparencia para que las aplicaciones puedan correr sobre una capa virtual de recursos de la red. El aspecto clave del middleware es que le da al GRID la apariencia de un único sistema de cómputo [16].

Habitualmente se describe esta arquitectura en términos de "capas" (Fig. 1.3), ejecutando cada una de ellas una determinada función. Como es habitual, las capas más altas están más cerca del usuario, en tanto que las capas inferiores lo están de las redes de comunicación.

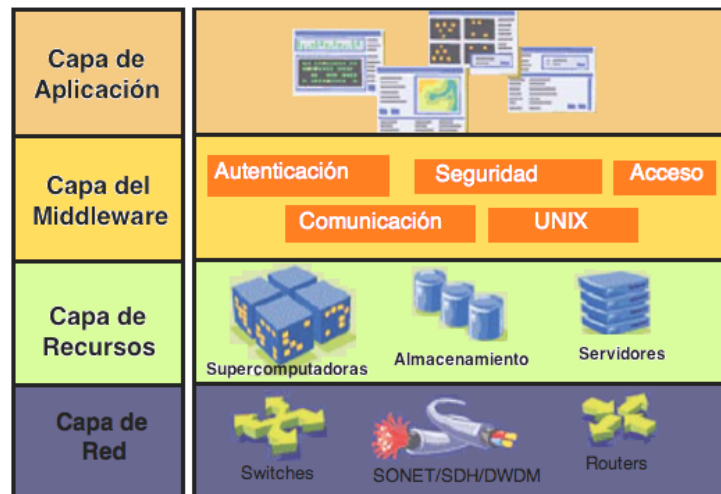


Figura 1.3. Arquitectura del GRID mostrando las capas que lo componen y los elementos de éstas.

Primero se encuentra la capa de red, la cual es responsable de asegurar la conexión entre los recursos que forman el GRID. La siguiente capa es la capa de recursos, la cual está constituida por los dispositivos que son parte de él como ordenadores, sistemas de almacenamiento, catálogos electrónicos de datos e incluso sensores que se conecten directamente a la red. En la zona intermedia está la capa de middleware, encargada de proporcionar las herramientas que permiten que los distintos elementos (servidores, almacenes de datos, redes, etc.) participen de forma coordinada en un entorno GRID unificado [19,20].

El middleware, es el auténtico "cerebro" del GRID y se ocupa de las siguientes funciones:

- Encontrar el lugar conveniente para ejecutar la tarea solicitada por el usuario.
- Optimiza el uso de recursos que pueden estar muy dispersos.
- Organiza el acceso eficiente a los datos.
- Se encarga de la autenticación de los diferentes elementos.
- Se ocupa de las políticas de asignación de recursos.
- Ejecuta las tareas.
- Monitoriza el progreso de los trabajos en ejecución.
- Gestiona la recuperación frente a fallos.
- Avisa cuando se haya terminado la tarea y devuelve los resultados.

El middleware está formado por muchos programas. Algunos de esos programas actúan como agentes y otros como intermediarios, negociando entre sí, de forma automática, en representación de los usuarios y de los proveedores de recursos [21].

Por último, en la capa superior está la capa de aplicación donde se incluyen todas las aplicaciones de los usuarios, portales y herramientas de desarrollo que soportan esas aplicaciones. Esta es la capa que ve el usuario.

### 1.4.3. Ventajas de su utilización

Hoy en día las computadoras son usadas para modelar y simular problemas científicos y de ingeniería bastantes complejos, diagnósticos médicos, controles industriales, pronóstico del clima y muchos otros propósitos. Y es el GRID el que permite una eficiente utilización de todas estas computadoras para resolver dichos problemas [20,21,22].

Algunas de sus principales ventajas son las siguientes:

1. Improvisación tecnológica
2. Uso eficiente de recursos.
3. Nuevas técnicas y herramientas para resolver problemas.
4. Posibilidad de compartir recursos.
5. Redes de comunicaciones rápidas y fiables.
6. Estándares abiertos.

Algunos de los grupos que pueden tener la suficiente motivación para invertir en la infraestructura necesaria para compartir sus recursos son [21]:

1. Gobiernos y Organizaciones Internacionales: En respuesta ante desastres (inundaciones, incendios, terrorismo, etc.), planificación urbana, modelos económicos, etc.
2. En el mundo de la Medicina: La unión de recursos (tales como bases de datos administrativas y archivos de historias clínicas e imágenes médicas) y de instrumentos especializados abre la puerta a una gran variedad de nuevos procedimientos de diagnóstico mejorados gracias a la ayuda de ordenadores, en base a un análisis rápido de imágenes médicas complejas y la comparación automática con archivos distribuidos para encontrar casos similares.
3. En la Educación: Las Bibliotecas Electrónicas y los centros de e-Educación se beneficiarán de las herramientas basadas en el GRID para el acceso a datos dispersos y la creación de aulas virtuales con estudiantes, recursos y profesores distribuidos.
4. Empresas y grandes Corporaciones: Las grandes empresas tienen delegaciones, datos, personal y recursos distribuidos por todo el mundo. Un enfoque basado en GRID permitirá la creación de medios para realizar aplicaciones a gran escala, utilizando simultáneamente recursos situados en muchos lugares.
5. Computación de alto rendimiento: Para aplicaciones que necesitan trabajar de forma paralela en diferentes campos como: Ciencia de materiales, Química, Simulaciones militares, etc., el GRID ofrece la posibilidad de ejecutar dichas aplicaciones intensivas, ofreciendo grandes ventajas en costos y rendimiento [16].

La tecnología derivada del GRID abre un enorme abanico de posibilidades para el desarrollo de aplicaciones en muchos sectores.

## 1.5. Objetivos y Justificación

Como se presentó en las secciones anteriores, con la creación de la Delta Metropolitana se realizará una red, independiente de CUDI, que soportará tecnología GRID y WDM y que en un futuro, diferentes instituciones educativas podrán conectarse a ella, creándose de esta manera una red dorsal de alta velocidad (10Gbps) que compita con las mejores redes educativas actuales del mundo.

Para su implementación se tiene como primer paso el diseño de la red, el cual fue elaborado por el Instituto de Ingeniería de la UNAM y puede ser encontrado en las referencias 27 y 29 de este capítulo. En dichos trabajos se concluye que la configuración más adecuada contempla el uso de tecnología DWDM sobre fibra G.652 sobre la banda C, con una capacidad máxima de 40 canales trabajando a 10 Gbps y estando limitados dichos enlaces únicamente por la atenuación, debido al gran número de empalmes necesarios en la línea y por el empleo de distribuidores de fibra DFO.

En este aspecto, este trabajo tiene como finalidad realizar una serie de pruebas teóricas mediante un simulador basado en LabVIEW, elaborado en el Instituto de Ingeniería de la UNAM en colaboración con Bell Labs, así como de realizar una serie de pruebas experimentales con equipos ópticos WDM comerciales de diferentes fabricantes (NEC, Padtec y Optelian), con la finalidad de analizar el desempeño que presentarían los enlaces de realizarse bajo esa configuración y de esta manera obtener las características que deberán presentar los equipos WDM de las compañías que pretendan participar en la licitación de dicho proyecto.

El método a seguir consiste en:

1. Analizar las limitaciones que se presentan en los enlaces debido al ensanchamiento del pulso.
2. Analizar las limitaciones que se presentan en los enlaces debido a la atenuación de la señal.
3. Analizar las limitaciones que se presentan en los enlaces debido a la aparición de efectos no-lineales FWM y XPM
4. Estudiar la estabilidad en potencia emitida y desviación espectral que presentan los transmisores comerciales.
5. Estudiar la sensibilidad de los receptores, dependiendo del tipo de fotodetector y la tasa de transmisión.
6. Estudiar las pérdidas por inserción y el crosstalk intercanal que presentan los multiplexores y demultiplexores, dependiendo del número de canales y de la tecnología de filtros utilizada.
7. Estudiar las características de una transmisión DWDM de 32 canales sobre fibra estándar G.652 de 40 km de longitud.
8. Estudiar como es afectada la relación señal a ruido óptica OSNR y como puede ser mejorada.
9. Estudiar la forma de onda de la señal al propagarse por enlaces de diferentes características.
10. Estudiar la utilización de OADMs.

Por lo tanto, con la elaboración de esta tesis se realizan los análisis correspondientes a las consideraciones de mayor importancia para la creación de un enlace WDM, sirviendo como base para la futura implementación de la red óptica de transporte de la Delta Metropolitana de Supercómputo, cubriendo con una amplia gama de pruebas que proporcionan una serie de gráficas experimentales y un estudio teórico del sistema. Se obtiene así una serie de resultados que permiten conocer la viabilidad de implementar los enlaces bajo la configuración propuesta por el grupo de trabajo del Instituto de Ingeniería. Así como conocer las características de los equipos WDM necesarias para la implementación de dichos enlaces.

## Referencias

- [1] John DYER, *The Case for National Research and Education Networks (NRENs)*, Trans-European Research and Education Networking Association TERENA, 2009.
- [2] DANTE (Delivery of Advanced Network Technology to Europe), <http://www.dante.net>
- [3] Guillermo Losilla Anadón, *Introducción al GRID*, Ayuntamiento de Zaragoza, 2005
- [4] Le Réseau National de télécommunications pour la Technologie l'Enseignement et la Recherche, <http://www.renater.fr>
- [5] Institut de recherche en informatique et systèmes aléatoires, <http://www.irisa.fr/paris/web/G5K.html>
- [6] ALADDIN-G5K : ensuring the development of Grid'5000 for the 2008-2012 period, <https://www.grid5000.fr/mediawiki/index.php/Grid5000:Home>
- [7] Canada's Advanced Research and Innovation Network, [www.canarie.ca/canet4/](http://www.canarie.ca/canet4/)
- [8] Corporación Universitaria para el Desarrollo de Internet (CUDI), [http://www.cudi.edu.mx/noticias/diciembre\\_2004/041210.html](http://www.cudi.edu.mx/noticias/diciembre_2004/041210.html)
- [9] Canada's Advanced Research and Innovation Network, <http://mail.canarie.ca/MLISTS/news2004/0130.html>
- [10] REUNA Ciencia y Educación, <http://www.reuna.cl>
- [11] Corporación Universitaria para el Desarrollo de Internet (CUDI), <http://www.cudi.edu.mx/>
- [12] Ing. Azael Fernández Alcántara, *Proyecto de Delta Metropolitana de Supercómputo en Cd. México*, 7ª Reunión Técnica CLARA-ALICE, 2007.
- [13] Azael Fernández Alcántara, Sergio M. Castro-Resines, *Redes Ópticas Metropolitanas Académicas*, Reunión de Primavera CUDI 2008.
- [14] El Economista, <http://eleconomista.com.mx/node/65173>, 26 Septiembre, 2008
- [15] Grupo de Electricidad y Sistemas Electrónicos, *Computación Distribuida*, Universidad Técnica Particular de Loja. <http://sig.utpl.edu.ec/download/data/computacion%20distribuida.pdf>
- [16] Force 10 Networks, Inc., *Building Scalable, High Performance Cluster and Grid Networks: The Role of Ethernet*, 2006
- [17] Corporación Parque Tecnológico de Mérida, Centro de Teleinformación, Centro de Cálculo Científico, *Herramientas GRID para la integración y administración de servicios de redes en Latino América*, Universidad de Los Andes. Diciembre 2005.
- [18] Dimitra Simeonidou, Reza Nejabati, Georgios Zervas, Dimitrios Klonidis, Anna Tzanakaki, and Mike J. O'Mahony, *Dynamic Optical-Network Architectures and Technologies for Existing and Emerging Grid Services*, Journal of Lightwave Technology, Vol. 23, No. 10, 2005.
- [19] I. Foster, C. Kesselman, S. Tuecke, "The Anatomy of the Grid". International Journal of High Performance Computing Applications. Vol. 15, pp.200-222, 2001.

- [20] Ian Foster, Carl Kesselman, Steven Tuecke. *Introduction to Grid Computing with Globus*, IBM International Technical Support Organization, Red Books, 2003.
- [21] Dr. Fernando Martín Sánchez Doctor y Dr. Alberto Villafranca Ramos, *Introducción a la tecnología GRID*, Boletic, 2005.
- [22] Ian Foster, Carl Kesselman, *Computational Grids*, Mathematics and Computer Science Division, Argonne National Laboratory.
- [23] Rede Nacional de Ensino e Pesquisa, <http://www.rnp.br/es/backbone/index.php>, 2007
- [24] Harold Castro, Jorge Chacón, César Díaz, Enrique González, Jorge Zuluaga, *GRID COLOMBIA: SOPORTE PARA INVESTIGACIONES DE AVANZADA*  
<http://www.unired.edu.co/eventos/unired/2009/noticias/grid%20colombia.pdf>
- [25] E-Infrastructure shared between Europe and Latin America, <http://www.eu-eela.org/first-phase.php>, 2008
- [26] Delta Metropolitana de Supercómputo, *Especificaciones preliminares y Maqueta de Pruebas*, Instituto de Ingeniería y DGSCA, UNAM, Comunicación Personal, 2008
- [27] Ing. Gerardo Nava Heredia, *Enlaces WDM de fibra óptica para el anillo metropolitano académico*, . Facultad de Ingeniería, UNAM, 2009.
- [28] Universidad Autónoma Metropolitana UAM, *Delta Metropolitana de Cómputo de Alto Rendimiento*, Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología CONACyT, Convocatoria: I0009-2006-01, Solicitud: 000000000057375, 2006.
- [29] S. M. Castro-Resines, R. Gutiérrez-Castrejón, *Diseño de las rutas que conforman la topología física de la Delta Metropolitana \* de la Ciudad de México*, VII Congreso Internacional en Innovación y Desarrollo Tecnológico, Artículo No. 547, CIINDET 2009.