

# UNA VISIÓN GLOBAL DE LA TECNOLOGÍA GRID

**J.L. Vázquez-Poletti, Eduardo Huedo Cuesta, Rubén Santiago Montero, Ignacio  
Martín Llorente**

**Departamento de Arquitectura de Computadores y Automática  
Universidad Complutense de Madrid  
Laboratorio de Computación Avanzada, Simulación y Aplicaciones  
Telemáticas  
Centro de Astrobiología (CSIC-INTA)**

## **Resumen**

El término Grid hace referencia a una nueva infraestructura que sobre Internet permite compartir, a gran escala y de forma desacoplada, recursos distribuidos geográficamente. La evolución de las redes de comunicación de alta velocidad ha creado un escenario idóneo para el desarrollo de esta tecnología que proporcionará funcionalidades análogas a las existentes en las redes de suministro eléctrico: un único punto de acceso a un conjunto de recursos distribuidos geográficamente como supercomputadores, clusters, almacenamiento, fuentes de información, instrumentos, personal... La tecnología Grid actual ofrece la funcionalidad mínima necesaria para, de forma transparente y segura, compartir y explotar simultáneamente los recursos pertenecientes a diferentes organizaciones, siempre respetando sus propias políticas y procedimientos de seguridad y gestión de recursos. Sin embargo, y a pesar de la gran inversión científica, esta tecnología está todavía lejos de cumplir las altas expectativas que la comunidad científica, el entorno empresarial y la sociedad han puesto en ella.

**Palabras Clave:** Grid, Supercomputación, Arquitectura de Computadores, Computación de Altas Prestaciones

## **1. Antecedentes**

Tradicionalmente la computación de altas prestaciones ha seguido un modelo “centralizado” basado en los servicios prestados por un único sistema. Sin embargo, a mediados de los años 90 se empezaron a hacer populares otras alternativas “distribuidas” que consiguen, para determinados perfiles de aplicación, rendimientos comparables a los proporcionados por las arquitecturas más avanzadas a un precio más razonable. Estas tendencias de computación en red, denominadas comúnmente por el término inglés Net Computing, consisten básicamente en interconectar sistemas distribuidos para aprovechar de forma conjunta y coordinada sus recursos. Las diferentes iniciativas se pueden agrupar en:

- Cluster Computing
- Intranet Computing
- Internet Computing
- Peer-to-peer Computing
- Collaborative & Computing Portals

Como se muestra a continuación, si bien estas alternativas representan avances significativos, no suponen cambios revolucionarios, ya que consisten en manipular la tecnología existente, principalmente el modelo cliente/servidor y la arquitectura de protocolos TCP/IP para unificar recursos distribuidos. Por otro lado, no debemos olvidar que también el almacenamiento y la entrada/salida son problemas de gran importancia en

computación de altas prestaciones. Existen variantes distribuidas para resolver las necesidades de almacenamiento (por ejemplo NFS, Webfs, PVFS...) y opciones para que la computación y el intercambio de información por la red se realice de forma segura garantizando autenticación tanto del cliente como del servidor, confidencialidad e integridad (por ejemplo SSL, NIS+, Kerberos...).

### 1.1. Cluster Computing

Debido al bajo precio y alto rendimiento de los actuales sistemas PC, estaciones de trabajo y redes de interconexión a 100 ó 1.000 Mbits/segundo, la construcción de un cluster se presenta frecuentemente como la mejor alternativa a la adquisición de un equipo multiprocesador (véase ejemplo en Figura 1). De hecho, la relación coste/rendimiento de los sistemas cluster es de media entre 3 y 10 veces mejor que la presentada por los sistemas multiprocesador tradicionales. Sin embargo, es importante aclarar que los sistemas basados en la replicación de equipos también presentan inconvenientes como su mayor dificultad de mantenimiento y la necesidad de un paradigma de programación basado en memoria distribuida. Esto supone que para desarrollar programas únicamente se pueden utilizar modelos de programación basados en granja de procesadores, esto es modelo de alta productividad, o en paso de mensajes como MPI (Message Passing Interface) o PVM (Parallel Virtual Machine), esto es modelo de alto rendimiento, y no se pueden utilizar de forma eficiente modelos de memoria compartida, como multithreading o directivas tipo OpenMP. Por otro lado, el rendimiento de estos sistemas es menor que el ofrecido por los sistemas multiprocesador para aplicaciones de grano fino.

Los clusters habitualmente están gestionados por herramientas software que se encargan de ejecutar las aplicaciones de los usuarios sobre las distintas máquinas en función de diferentes criterios de planificación fijados por el administrador. Estas herramientas de gestión de recursos pueden ser sistemas integrados de planificación como MOSIX o gestores de colas batch como PBS, versión libre, y PBS-Pro, versión comercial, LSF o SGE. Estas herramientas realizan una planificación dedicada asumiendo, en principio, la disponibilidad constante de los recursos que gestionan.



Figura 1 Clusters del Puerto de Información Científica. Fuente: Puerto de Información Científica.

## **1.2. Intranet Computing**

Algunas de las herramientas descritas en la sección anterior permiten también gestionar un sistema heterogéneo de equipos de forma oportunista, de modo que se pueda utilizar toda la potencia computacional distribuida que se encuentra habitualmente desaprovechada. Estas herramientas realizan una planificación basada en la suposición de que los recursos no están dedicados y por tanto no tienen porqué estar disponibles durante toda la ejecución de los trabajos. Se usan normalmente para coordinar los recursos de procesamiento en la Intranet de la empresa o del centro de investigación sin salir de su dominio de administración.

Por tanto, el objetivo de Intranet Computing es unir la potencia computacional desaprovechada de los recursos hardware distribuidos dentro de un único dominio de administración para alcanzar rendimientos semejantes a los proporcionados por los sistemas de alto rendimiento comerciales con un coste diferencial prácticamente nulo. Tanto estas herramientas, como las correspondientes a Cluster Computing, suelen instalarse junto con otros servicios que permiten compartir ficheros, como NFS, y usuarios, como NIS. Además, si la política de seguridad así lo exige se pueden instalar mecanismos de encriptación y autenticación basados por ejemplo en NIS+ y secure NFS, que usan Kerberos o Diffie-Hellman.

Intranet Computing es la alternativa más eficiente para aprovechar la capacidad de procesamiento disponible en los equipos ociosos de la red por medio de la ejecución de trabajos independientes, normalmente ejecuciones paramétricas. Ejemplos de herramientas de gestión de trabajos paramétricos son InnerGrid, AppLES, Nimrod, Condor y productos de empresas como Entropía, Avaki, United Devices o Parabon. Existen también herramientas que permiten tanto planificación dedicada como oportunista, como por ejemplo SGE o LSF.

## **1.3. Internet Computing**

Extender la colaboración entre sistemas distribuidos al ámbito de Internet presenta serios problemas adicionales. En Internet la seguridad es un factor clave y además el ancho de banda de la red puede hacer muy ineficiente el uso de la computación distribuida por medio de los paradigmas anteriores. Cluster e Intranet Computing suelen ser efectivos y eficientes a pequeña escala. A mayor escala han surgido nuevas aproximaciones que aprovechan los tiempos ociosos de los sistemas conectados a Internet para resolver problemas científicos de interés que se pueden expresar de forma paramétrica, en un modo Seti@home.

Las alternativas actuales permiten el uso de los procesadores de sistemas remotos donados por organismos o particulares para ejecuciones paramétricas. Este tipo de aplicaciones es muy común en determinados ámbitos de aplicación, como la Bioinformática. Actualmente todavía no hay ninguna empresa que pague a aquellos que “ceden” su procesador, esto es, todavía no se ha creado un mercado de “recursos de cálculo”. De hecho según reflejan los últimos estudios de mercado, todas las empresas que comercializan este tipo de aplicaciones como Entropía, Parabon o United Devices

hacen negocio principalmente en la Intranet de las empresas debido a problemas de seguridad “por ambas partes”:

- Las empresas que quieren comprar procesador son reacias a que sus códigos y datos propietarios viajen por Internet y se instalen en máquinas “desconocidas”. Los propietarios de las máquinas no se fían de que estos programas que se ejecutan no están “contaminados” con algún virus.

- Además, cuando el “donador” de recursos es una empresa nos encontramos con problemas derivados de la disparidad en políticas de seguridad, procedimientos de explotación de recursos... Por otro lado, no debemos olvidar que el bajo ancho de banda proporcionado por Internet actualmente limita el tipo de trabajo susceptible de usar esta tecnología. Deben ser trabajos paramétricos, esto es que se pueden dividir fácilmente en trabajos totalmente independientes, que requieran bastante uso de procesador, para evitar que se tarde más en enviarlos que en ejecutarlos, que no requieran prácticamente memoria, para que el usuario de los sistemas no se vea afectado por su ejecución, y que no tengan casi entrada/salida, para evitar la costosísima transmisión de ficheros de gran tamaño. Por otro lado, debido a la poca fiabilidad y robustez de los sistemas donde se invocan las ejecuciones, el problema debe contar con un gran número de conjuntos de datos de entrada.

Otro modelo de computación, también en investigación en Internet, es On-Demand Computing. Las aplicaciones que usan este paradigma se programan para que usen recursos específicos de forma remota. Un ejemplo es Netsolve que permite delegar la ejecución de funciones de librerías matemáticas típicas que requieren gran potencia computacional a servidores remotos. Otra herramienta semejante es Ninf.

#### **1.4. Peer-to-Peer Computing**

Las soluciones de computación indicadas anteriormente se basan en el modelo cliente/servidor. Existe un master o cliente principal que reparte trabajo entre los servidores o trabajadores. Este modelo centralizado suele presentar cuellos de botella para sistemas masivos. La solución es un modelo peer-to-peer donde puede existir comunicación entre los trabajadores aunque los servidores de información sean centralizados. Este modelo es muy común en la compartición de ficheros en entornos distribuidos, por ejemplo Napster o Gnutella.

#### **1.5. Collaborative Portal y Computing Portal**

Collaborative Portal permite la interacción entre grupos de investigación, empresas, proveedores y entidades colaboradoras de forma fácil y eficiente. El mayor nivel de colaboración aumenta la productividad y reduce costes. Por otro lado, Computing Portal es una nueva tecnología cuyo objetivo es ahorrar tiempo y dinero proporcionando un único punto de acceso seguro basado en navegador web para invocar servicios como la ejecución de aplicaciones en plataformas de alto rendimiento (véase un ejemplo en la Figura 2).

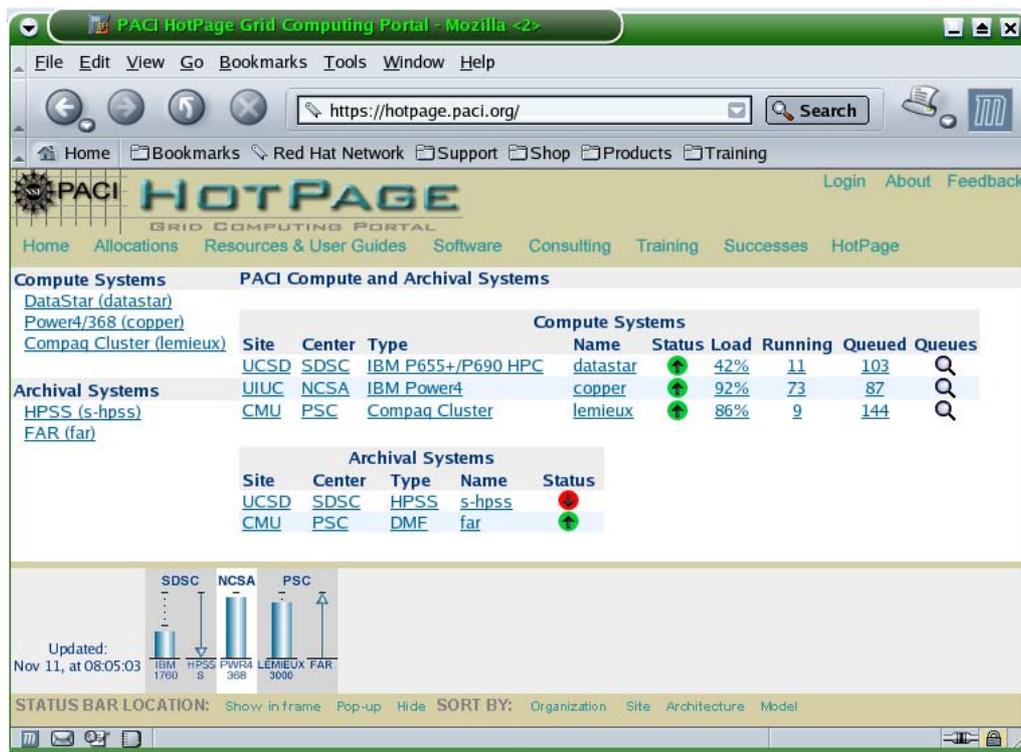


Figura 2 PACI Computing Portal.

## 2. Infraestructuras Grid

Tanto Cluster como Intranet Computing son paradigmas que permiten obtener gran capacidad de procesamiento dentro de un único dominio de administración. Alguna de estas herramientas, como SGE Enterprise o Condor Flocking, también permite la interconexión de varios departamentos o dominios de administración siempre que estos estén también gestionados internamente con la misma herramienta. Sin embargo, ninguna de las herramientas anteriores permite compartir recursos distribuidos en diferentes dominios de administración, cada uno con sus propias políticas de seguridad y gestión de recursos.

Las tecnologías descritas en la sección anterior son casos especiales de un nuevo paradigma de computación distribuida que en poco tiempo estamos seguros que va a revolucionar no sólo la computación de altas prestaciones sino Internet en general. Esta nueva tendencia, referida de forma general por el término Grid, supone un cambio radical en la colaboración de sistemas conectados a Internet y en particular en la computación de altas prestaciones debido a su enorme potencial respecto al intercambio y gestión de recursos.

Gracias a la tecnología Grid se pueden evitar muchos de los inconvenientes indicados anteriormente, como la seguridad, y desarrollar infraestructuras que no sólo compartan sus procesadores sino además su capacidad de almacenamiento y aplicaciones. De hecho, muchas de las empresas indicadas anteriormente en Intranet e Internet Computing están portando sus tecnologías propias para usar como base la tecnología Grid, en particular el

Globus Toolkit. Es importante resaltar que la tecnología Grid no pretende sustituir las tecnologías anteriores ya que su ámbito de aplicación es diferente. El objetivo de la tecnología Grid es unir de forma desacoplada los recursos de diferentes dominios de administración, respetando sus políticas de seguridad y herramientas de gestión internas (véase un ejemplo en la Figura 3).

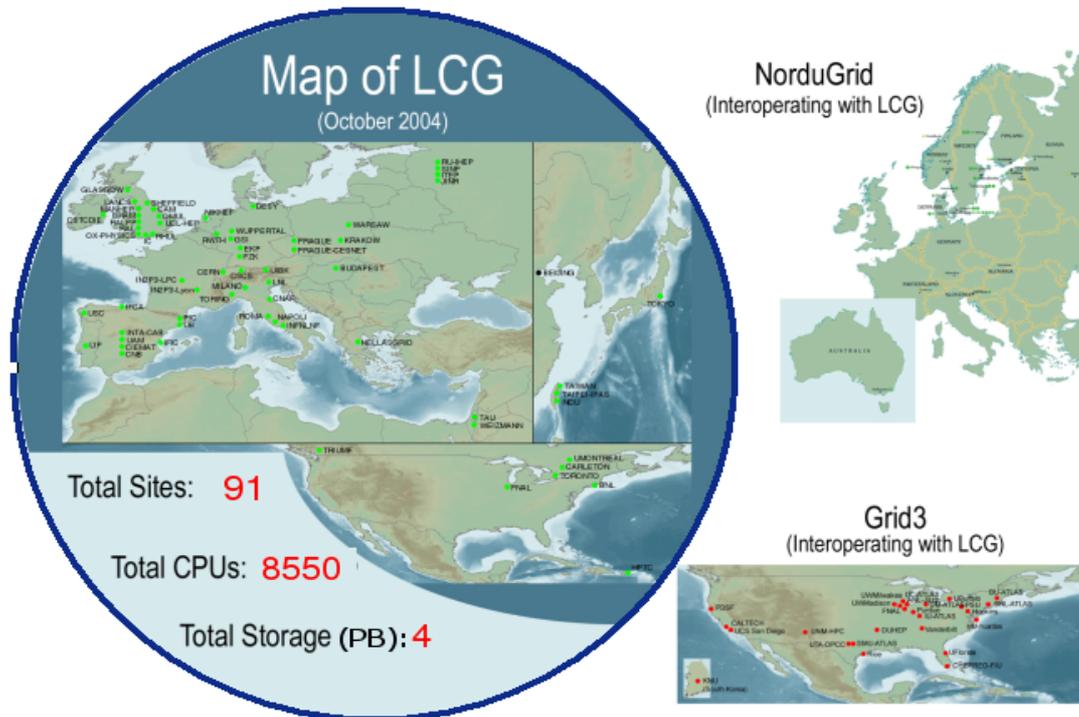


Figura 3 Grid LCG que interconecta recursos heterogéneos pertenecientes a diferentes organizaciones.

### 3. Importancia de la Investigación en Tecnología Grid

Los destacados avances realizados en tecnología y arquitectura de computadores durante los últimos 50 años han propiciado un aumento suave y continuo de sus prestaciones, tal y como refleja la evolución seguida por la lista de los 500 supercomputadores más potentes del mundo. En media, el rendimiento de estos supercomputadores, en millones de operaciones en punto flotante por segundo, ha aumentado en dos órdenes de magnitud cada 10 años. Es evidente entonces que el único modo de obtener mayores prestaciones es el aprovechamiento simultáneo de recursos distribuidos pertenecientes a diferentes organizaciones.

Por otro lado, la tendencia actual, conocida como Ley de Moore, de la evolución de las prestaciones de los procesadores, en términos del número de transistores integrados en el

mismo circuito, indica que el rendimiento de los mismos se duplica cada 18 meses; la capacidad de almacenamiento de los discos se duplica cada 12 meses; y el ancho de banda de red, en términos del número de bits transmitidos por segundo usando fibra óptica, se duplica cada 9 meses. Resulta interesante observar que desde el año 1.986 al 2.000 la velocidad de procesamiento aumentó en un factor 500 y el ancho de banda de las redes se incrementó en un factor 340.000.

Estas tendencias indican que posiblemente en el futuro los sistemas de una única organización no serán capaces de procesar toda la información almacenada en sus discos, e incluso en algunos casos “extremos” ni siquiera los recursos de almacenamiento de la organización podrán albergar toda información que debe analizar. Por lo tanto, el procesamiento o almacenamiento de toda esta información sólo será posible solicitando los recursos de sistemas externos. La evolución de las redes de comunicación permitirá el acceso al exterior para poner en común los recursos propios.

#### **4. Beneficios de la Tecnología Grid**

El uso de esta nueva tecnología quizá sea más evidente en su aplicación a la computación científica. La simulación numérica constituye una herramienta de gran valor tanto en los procesos de diseño en diversas ramas de la ingeniería como cálculo de estructuras, dinámica de fluidos computacional,... como para el estudio de complejos procesos naturales en física de altas energías, meteorología, bioinformática,... La precisión con que dichos procesos pueden simularse depende únicamente de la potencia computacional y la capacidad de almacenamiento disponibles, prestaciones que aun considerando el supercomputador más rápido resultan insuficientes, teniendo en cuenta los desafíos que pretende y debe afrontar nuestra tecnología y ciencia en este nuevo siglo. Sin duda estas demandas podrán ser satisfechas por la infraestructura Grid, aunque como veremos más adelante son bastantes los problemas que aún han de ser resueltos.

En pocos años la tecnología Grid supondrá una revolución en el tipo de servicios prestados a través de Internet gracias al enorme potencial de intercambio y de gestión de recursos que ofrece. Esta tecnología permitirá utilizar todo tipo de recursos distribuidos en la red como procesadores, disco, red, dispositivos, visualización... de forma transparente y manteniendo un alto nivel de seguridad, y una correcta política de gestión que tenga en cuenta parámetros tanto técnicos como económicos. Por tanto, al igual que ocurrió con Internet, la tecnología Grid será decisiva para el desarrollo empresarial dando lugar a innumerables ideas de negocio como pueden ser el desarrollo de organizaciones virtuales, la comercialización en demanda de recursos, los proveedores de recursos... A continuación se muestran algunos ejemplos de aplicación de esta tecnología:

- Diferentes empresas podrán formar organizaciones virtuales con el objetivo de colaborar en un proyecto común compartiendo aplicaciones, datos y recursos computacionales de forma transparente. De este modo, se podrá dar servicio a las demandas puntuales de recursos resolviendo problemas actualmente inabordables y, por otro lado, se podrán amortizar los recursos propios cuando éstos se encuentren infrautilizados.
- Los servicios en TI (Tecnologías de la Información) podrán ser subcontratados a “Proveedores de Recursos”, reduciendo así la necesidad de recursos y servicios de

información en la propia organización. Gracias a este nuevo paradigma “punto.com” para la computación, los costes fijos en IT se convertirán en variables en función de las necesidades dinámicas y se simplificará considerablemente la adopción de nuevas tecnologías.

## 5. Modelo de Capas de Tecnología Grid

Para poder analizar y entender la tecnología Grid debemos recurrir a un modelo de capas, tal y como se detalla en la Figura 4.

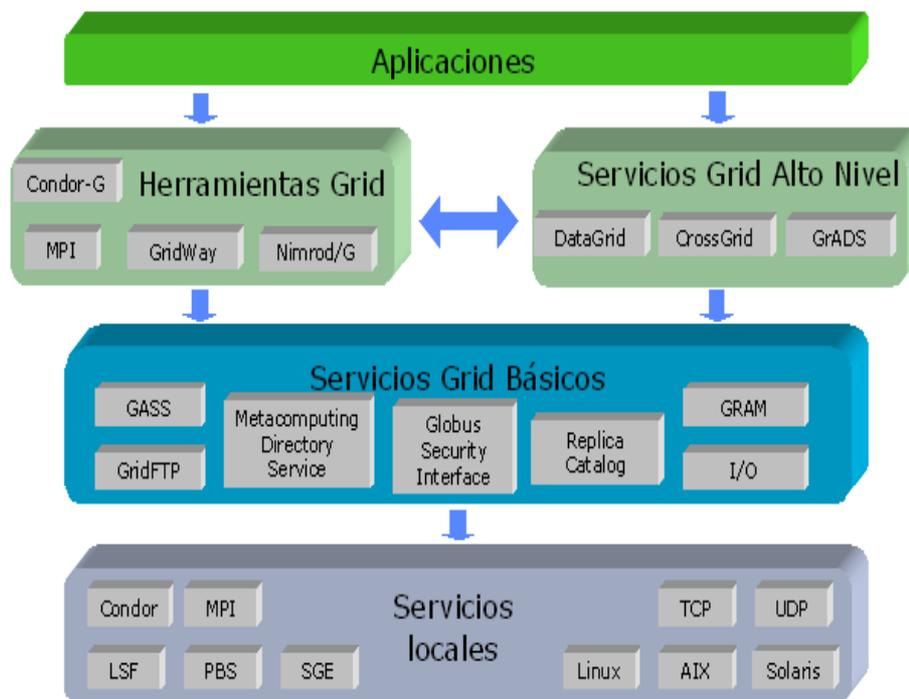


Figura 4 Modelo de capas propuesto para analizar la tecnología Grid.

Dentro de los servicios locales se encuentran los recursos ofrecidos por las diferentes organizaciones que constituyen el Grid. Supercomputadores, sistemas cluster, arrays de almacenamiento, bases de datos, instrumentos... son ejemplos de recursos que se pueden compartir. Fijémonos en el alto grado de heterogeneidad que se puede llegar a obtener tanto en relación a los distintos tipos de recursos como para cada tipo de recurso, pudiendo presentar diferentes arquitecturas, sistemas operativos o herramientas de gestión.

A continuación, los servicios Grid básicos se encargan de ofrecer un interfaz uniforme a

cada tipo de recurso independientemente de sus características. Es el nivel fundamental del Grid, desde el cual se desarrolla el resto de servicios y herramientas. Estos servicios proporcionan un interfaz único para realizar operaciones básicas, tales como ejecutar o monitorizar un trabajo, averiguar el estado del recurso, mover un instrumento o gestionar el control de acceso al recurso. Hoy día, el estándar de hecho para estos servicios es el Globus Toolkit. El Globus Toolkit es una colección de componentes software open-source y open-architecture diseñados para soportar el desarrollo de aplicaciones de alto rendimiento sobre entornos distribuidos tipo Grid. Realmente se trata de un conjunto de componentes autónomos que permiten al diseñador desplegar un Grid. Cada componente proporciona un servicio básico como autenticación, asignación de recursos, monitorización y acceso remoto a datos.

Por encima, y para que el Grid sea sencillo y eficiente de explotar, es necesario desarrollar herramientas y servicios de más alto nivel, que suelen depender del ámbito de aplicación. Existe un gran número de proyectos en marcha cuyo objetivo es desarrollar tecnología para determinados ámbitos de aplicación. El desarrollo del software en este nivel es bastante complejo, debiendo aportar tolerancia a fallos, calidad de servicio y eficiencia en un entorno donde el fallo es la regla más que la excepción y los recursos presentan un gran dinamismo en su disponibilidad, carga y coste.

## **6. Desafíos Actuales**

Hoy en día el Grid está aún lejos de ser capaz de cumplir las expectativas que la comunidad científica y la sociedad han puesto en él. A pesar de que todos los componentes necesarios para desplegar un Grid están disponibles, estos únicamente ofrecen una funcionalidad limitada, debido esencialmente a los siguientes factores:

- El conocimiento que poseemos de la ejecución y planificación de tareas en Grids computacionales es reducido, y consecuentemente las herramientas software sólo permiten un uso elemental del Grid. Además no existe una forma directa en la que los científicos e ingenieros puedan expresar sus problemas computacionales. Son fundamentales las labores de investigación y desarrollo de estas herramientas software ya que sin ellas el Grid es algo inútil e inservible. Esto es, según la experiencia de los autores, lo sucedido en computación paralela donde la investigación y desarrollo de herramientas software; como depuradores paralelos, compiladores, modelos de programación y librerías paralelas, entre muchas otras, posibilitó la amplia aceptación y uso por parte de la comunidad científica de estas arquitecturas.

- La tecnología Grid no pretende competir con las tecnologías existentes dentro de un centro de investigación o empresa. Su objetivo es interconectar de forma débilmente acoplada recursos en Internet gestionados por diferentes tecnologías y políticas de seguridad, hoy en día incompatibles. Por tanto, las características de este nuevo paradigma implica el desarrollo de nuevos algoritmos tolerantes a las altas latencias del Grid, así como sistemas de ejecución capaces de reaccionar dinámicamente a las condiciones altamente variables de este entorno.

- El despliegue de esta tecnología no sólo supone la superación de problemas científico-técnicos antes mencionados, sino que muchas veces los aspectos socio-políticos

constituyen el mayor impedimento, derivado de la cooperación y el uso compartido recursos entre diferentes instituciones, países y grupos de investigación.

En resumen, aún son muchos los problemas que han de ser resueltos antes de que la tecnología Grid resulte completamente funcional. Estos problemas, que están siendo abordados por diferentes iniciativas de investigación, comprenden desde el desarrollo de la propia tecnología Grid, hasta la adaptación de aplicaciones o el despliegue del Grid.

## **Bibliografía**

A. Snavely et al., "Benchmarks for Grid Computing", *ACM SIGMETRICS Performance Evaluation Review* Vol. 30 Is. 4 (2003).

AppLESS. <http://apples.ucsd.edu/>

Cleo Vilett, "Moore's Law vs. storage improvements vs. optical improvements", *Scientific American* (2001).

Computing Portals. <http://www.computingportals.com/>

Condor. <http://www.cs.wisc.edu/condor/>

Global Grid Forum. <http://www.globalgridforum.org/>

Globus Toolkit. <http://www.globus.org/>

Gnutella. <http://www.gnutella.com/>

Grid Computing. <http://www.gridcomputing.com/>

GridCafe. <http://gridcafe.web.cern.ch/>

Ian Foster y Karl Kesselman, *The Grid 2: Blueprint for a New Computing Infrastructure*, Morgan Kaufmann Publishers, 2003.

InnerGRID. <http://www.gridsystems.com/>

LCG. <http://lcg.web.cern.ch/LCG/>

Lista de los 500 supercomputadores más potentes del mundo. <http://www.top500.org/>

LSF. <http://www.platform.com/>

Modelo Peer-to-Peer. <http://www.peer-to-peerwg.org/>

MOSIX. <http://www.mosix.cs.huji.ac.il/>

Napster. <http://www.napster.com/>

Netsolve. <http://icl.cs.utk.edu/netsolve/>

Nimrod. <http://www.csse.monash.edu.au/~rajkumar/ecogrid/>

Ninf. <http://ninf.apgrid.org/>

OpenPBS. <http://www.openpbs.org/>

Seti@home. <http://setiathome.ssl.berkeley.edu/>

SGE. <http://www.sun.com/gridware/>