Grid computing: promesa de los sistemas distribuidos

Harold Castro, Ph. D.

El estado actual en Colombia y el mundo de la computación en malla.

La promesa de la computación distribuida de ofrecer una solución escalable y económica a la computación de alto desempeño (HPC por sus siglas en inglés), a la colaboración o a la optimización de recursos parecía no llegar.

Desde los años 70 cuando aparecieron las primeras redes locales, la comunidad científica y las organizaciones en general estuvieron a la espera de esa solución que les permitiría reducir sus inversiones futuras en tecnología y a la vez aumentar el retorno por las ya hechas. Muchas aproximaciones fueron planteadas para lograr este objetivo; sin embargo, los departamentos de tecnología siguen consumiendo presupuestos cada vez más importantes y el retorno de esas inversiones no es tan alto como se podría esperar.

Las redes locales, los middlewares de integración, los cluster y más tarde la Web e incluso los sistemas P2P (peer-to-peer), todas en su momento fueron tecnologías que se intentaron adaptar para encontrar esa solución escalable y económica. Todos estos sistemas permiten en mayor o menor grado compartir recursos y por lo tanto se pensaba que a partir de esa base podríamos construir rápidamente una solución que diera respuesta a las diversas necesidades de los usuarios.

Si el problema era de poder de cómputo o de almacenamiento entonces el hecho de poder sumar las capacidades de los recursos individuales debería acercarnos a la solución. Si por el contrario se trataba de colaboración entonces disponer de comunicación directa entre los distin-

tos participantes resolvería el problema.

Por último, si lo que se quiere es optimizar el uso de los recursos, se podrían imaginar soluciones que balancearan la carga entre todos los elementos dado que ya se dispone de una infraestructura de comunicaciones entre ellos.

Entonces, ¿qué pasó? Algunas de las tecnologías mencionadas anteriormente tienen más de 30 años de estar entre nosotros y todas, sin excepción, son tecnologías del siglo pasado. Si estamos de acuerdo en que a la base hay un problema de compartir y eso lo solucionamos con una infraestructura de comunicaciones, ¿por qué no hemos logrado una solución que satisfaga a todos? La respuesta hay que buscarla en varios aspectos y a ninguno de ellos se le puede culpar totalmente. Es justamente la sumatoria de una serie de circunstancias lo que no había permitido, ¿hasta ahora?, generar consenso.

Grid computing es el resultado de la evolución de los sistemas distribuidos en la búsqueda de esa solución satisfactoria. A partir de un análisis de los elementos que han retrasado la solución, este artículo presenta en qué consiste grid computing o computación en malla y su estado actual en el mundo y en Colombia en particular.

El problema de los sistemas distribuidos

En primer lugar, como siempre nos pasa en informática, el problema cambió. Cuando encontramos una solución, nos cambian la especificación. Si un usuario pide N Teraflops para sus cálculos, una vez los obtiene quiere 2N o N2 como mínimo. Si quería colaborar en una solución con su vecino de oficina, ahora quiere hacerlo con el amigo que está en otra sede o incluso con el colega que trabaja en otra organización. Si quería optimizar los recursos de su departamento, ahora lo quiere hacer para toda la organización que puede ser una multinacional. Necesariamente este cambio de requerimientos implica nuevos retos y las soluciones que ideamos se quedan cortas intentando adaptarse continuamente a las necesidades de los usuarios.

La segunda razón es tecnológica. La informática ya no es una disciplina nueva así que los cambios de requerimientos sabemos que son una constante y hemos aprendido a enfrentarlos. Sin embargo en este caso, la tecnología no nos acompañaba al ritmo

que exigían los cambios. Compartir recursos implica que usamos en algún momento más de los recursos que poseemos y como debe ser recíproco, además que estemos dispuestos a ceder aquellos que no estamos utilizando en un momento dado. Y para que el modelo sea efectivo, es deseable que ese tráfico de recursos de un lado para otro sea alto, es decir, que se tengan recursos que ceder continuamente y eso significa que de alguna manera las infraestructuras están sobredimensionadas para la operación normal.

Ese sobredimensionamiento implica costos y por supuesto se vuelve difícil de justificar a no ser que la tecnología por si misma esté sobredimensionada y sea normal disponer de un excedente continuamente.

Es a este escenario al que estamos asistiendo con la evolución de los procesadores de arquitectura multi-core, si usted está leyendo este artículo a través de la Web, podría entonces revisar el historial de uso de CPU de la máquina que está usando y seguramente se encontrará que lleva horas por debajo del 5 ó 10%.
La red es un tema crítico que habilita o inhabilita una solución distribuida. Y si ha habido un quiebre tecnológico importante que permite un modelo como el propuesto por grid computing, es el que se ha dado con las redes de alta velocidad.

Si bien todo el mundo conoce y se admira de la ley de Moore que predice que la capacidad de cómputo de los computadores se duplica cada 18 meses, más impactante, aunque menos conocida, es la ley de Gilder que predice que el ancho total de las comunicaciones se triplica cada doce meses.

Si comparamos las dos leyes entonces podemos decir que el crecimiento de la capacidad de transferencia de las redes más que duplica el crecimiento en la capacidad de cómputo de los computadores.

Y bien podríamos citar otra ley que refuerza lo anterior: la ley de Metcalfe (creador de Ethernet y fundador de 3COM). Metcalfe dice que el valor de una red es proporcional al cuadrado del número de nodos. Esto es, el valor de la red crece exponencialmente mientras que el costo de conectarse permanece igual o incluso se reduce. Ahora bien, la ley de Gilder se ha venido respetando relativamente bien en los últimos años.

Pero, de la misma manera como crece nuestra capacidad de transferir información, también crece el uso e incluso el mal uso de esa red: estudios arrojan que entre el 20 y el 50% del tráfico de Internet es generado por redes P2P [1]. Así que si bien es cierto que nuestra capacidad de conectar y transferir información entre recursos compartidos es muy grande, es posible que aún existan requerimientos de difícil cumplimiento. Por ejemplo, si lo que quiero es compartir recursos a través de Internet, la competencia por el ancho de banda sigue siendo muy concurrida.

Las Redes de Alta Velocidad (RAV) son la tecnología apropiada para ser el soporte de infraestructura adecuado para las necesidades de compartir recursos en busca de esa solución económica y escalable para HPC, colaboración y optimización. Estas redes permiten que para las aplicaciones el costo de comunicaciones sea despreciable y por lo tanto que las comunicaciones no sean un limitante de nuestro diseño.

Pero, esto es verdad siempre y cuando en todo el camino entre los dos extremos de la comunicación sólo haya dispositivos RAV. Si en algún momento tenemos que pasar por el Internet tradicional, perdemos todas las garantías que nos pueden ofrecer las RAV. Se hacen necesarias soluciones que garanticen independencia de la red actual de Internet, y esas son las propuestas académicas de Internet 2 en U.S.A. (www.internet2.edu), Geant en Europa (www.geant.net) y Apan en la región Asia-Pacífico (www.apan.net).

Otras consideraciones que aparecen ante el cambio de requerimientos es la necesidad de contar con estándares que garanticen la interoperabilidad de los distintos participantes de una solución distribuida. La realidad actual es que cada organización o departamento tiene una solución local para compartir sus recursos al interior de su dominio de administración. Si queremos extender esa capacidad de compartir tendremos que atravesar esas fronteras administrativas y empezar a hablar con otras soluciones distribuidas ya implementadas.

La no existencia de estándares reconocidos y aceptados por todos los posibles participantes hace que sea necesario el desarrollo de software particular para poder interoperar las diferentes soluciones posibles, una solución a todas luces no escalable.

El párrafo anterior pasó sin detenerse en un aspecto crucial cuan-

do hablamos de compartir con alguien más allá de un dominio de administración: la confianza. Si debemos permitir que alguien use los mismos recursos que nosotros utilizamos habitualmente, debemos estar muy tranquilos sobre el nivel de confidencialidad que tendrá la información que se maneja en esos recursos. Si hacemos procesamiento o almacenamiento en una máquina que no administramos, ¿qué tan seguros podemos estar de que se mantendrán las mismas políticas de acceso a la información a las que estamos acostumbrados en el sitio local? ¿Tiene sentido entonces llevar esta filosofía de compartir recursos tan lejos que nos podamos encontrar compartiendo recursos con la competencia? Si la respuesta es afirmativa, entonces necesitamos unos niveles de seguridad que aseguren esa confianza y permitan que el sistema cumpla con sus objetivos.

Otro aspecto que debe mencionarse en este momento es la estabilidad de los recursos. La búsqueda de soluciones escalables y económicas hace pensar en infraestructuras dinámicas en las que los recursos aparecen y desaparecen según decisiones que toman administradores autónomos y geográficamente dispersos. Las aplicaciones que utilizan tales infraestructuras deben estar preparadas para esta realidad y eso no siempre es fácil de lograr. La arquitectura de soporte de las aplicaciones entonces debe estar preparada para la desaparición sin previo aviso de recursos que pueden ser vitales para una aplicación, sin que esto implique que la aplicación completa falle.

Por último, y no por ello menos importante, hay una razón cultural para que no dispongamos de una solución completa. Compartir es un comportamiento social deseable pero del que no siempre damos ejemplo. El sentimiento de propiedad y de exclusividad es un valor arraigado en la sociedad y para aceptar compartir necesitamos reglas claras que aseguren que el poseedor de un recurso obtenga un beneficio real por el hecho de compartirlo. Es preciso asegurar que exista un equilibrio entre lo que se ofrece al mundo y lo que se obtiene de ese mundo. Tampoco se trata de ofrecer mecanismos a unos para que se aprovechen de las buenas intenciones de los otros ("free-riders").

Grid computing (computación en malla)

Grid computing es la evolución de los sistemas distribuidos para

ofrecer soluciones a los problemas recién planteados. Y como toda tecnología emergente, la computación en malla es sujeto de nuevas y continuas definiciones. Según el objetivo que se persigue, algunas definiciones hacen énfasis en compartir recursos [2], otras en el aprovechamiento de recursos ociosos [3], otras en capacidad de cómputo bajo demanda [4, 5], otras en virtualización de recursos o recursos adaptativos [6, 7, 8] y otras más en computación orientada a servicios [9].

Cualquiera que sea la definición con la que se trabaje, en lo que si parece haber un acuerdo es en las características fundamentales que debe tener un sistema para considerarse una solución de grid computing. Esta aceptación viene tal vez del hecho que quienes las proponen son también quienes primero empezaron a utilizar este término para agrupar todas las anteriores definiciones. En [10] el autor define estas tres características:

- Coordinación de recursos que no están sujetos a control centralizado y que superan las fronteras organizacionales.
- Uso de protocolos e interfaces estándares, abiertos y de propósito general.
- Ofrece características no triviales de servicio.

Las anteriores características dejan por fuera de la computación en malla a muchas soluciones que se malinterpretan como soluciones grid. Por ejemplo propuestas como SETI@home y distintas implementaciones P2P no se basan en estándares y por lo tanto no pueden ser consideradas como grid computing. En un cluster todas las máquinas son administradas por una misma organización, lo que rompe con la característica uno. Y soluciones que no aporten valor adicional al de un simple sistema distribuido no cumplen con la característica tres y por lo tanto no son aún soluciones grid.

Grid computing es entonces el resultado de una evolución tecnológica. Es la materialización de una visión en la cual los servicios de cómputo son asimilables a un servicio público cualquiera.

Yo no me preocupo por cómo la energía es producida, simplemente la uso porque la distribución cumple con los requerimientos que yo necesito de ella: ofrece seguridad a la hora de conectarse, los modelos de enchufe son estándares y conocidos, le sirve a todos mis dispositivos eléctricos, pago por lo que consumo y siempre está disponible si necesito más de lo que utilizo normalmente.

Y para obtener todos estos servicios sólo tengo que interactuar con una única compañía que se encarga de todo. Ese es el sueño y todavía no estamos en ese punto, pero una vez más, ese no es el problema con el que empezamos, así que dejémoslo como un sueño para más adelante.

Lo que sí ofrece grid es un paso más en la búsqueda de la solución al problema que definimos inicialmente (i.e. acelerar, colaborar y optimizar). Extiende el concepto de virtualizar más allá de las fronteras administrativas y geográficas con lo que potencialmente puede abarcar tanto poder de cómputo/almacenamiento como se requiera. Promueve la definición y uso de estándares lo que permite coordinar recursos de todo tipo y bajo el control de software muy diverso. Y ofrece servicios de valor agregado que garantizan que se genere la confianza necesaria para que podamos asignar tranquilamente nuestras tareas más críticas a ese sistema.
Otro tema que merece mención son los distintos tipos de grid que existen. Por supuesto no existe un solo tipo y clasificaciones hay casi tantas como definiciones.

En general, los grids se clasifican según su alcance: departamentales (en realidad estos son clusters con software de grid pues son administrados por un solo departamento de la organización), organizacionales (involucran a dos o más departamentos de la organización y ofrecen servicios a toda la organización) y globales (su área de influencia es una WAN). También se clasifican según el objetivo que se persigue con su uso: computacionales (para procesamiento masivo), de datos (para almacenamiento masivo) y colaborativos (procesamiento y visualización distribuida de información para que equipos dispersos puedan colaborar en un proyecto). Otras clases de grids que se mencionan frecuentemente son los "utility grids" usados en computación por demanda y que se están convirtiendo en un modelo de negocios muy atractivo pues permiten a un proveedor ofrecer servicios computacionales a un pool de clientes que ya no tienen que comprar toda la capacidad que sólo necesitan en ciertos picos del negocio.

¿Cómo funciona grid computing?

La figura 1 presenta los distintos niveles lógicos que representan el funcionamiento de un grid. El primer nivel es el nivel de acceso que resuelve la manera como un usuario final interactúa con el

grid. El segundo nivel es el corazón del grid y allí se encuentran los servicios que podemos esperar de un grid. En el último nivel encontramos los recursos propiamente dichos y que deben ser apropiados para ejecutar una cierta tarea. Para entender el funcionamiento de un grid, es necesario entender lo que pasa (o debería pasar pues como dijimos esta tecnología todavía está en desarrollo) en cada uno de esos niveles.

El nivel de acceso es un portal orientado a aplicaciones. Un grid se construye para resolver problemas y la interacción de un usuario de esta infraestructura debe ser un mecanismo que le permita expresar el problema que desea resolver.

Esta no es una tarea fácil porque mucha de la lógica de distribución va a estar implementada a este nivel. El portal debe ofrecer las herramientas necesarias para que el usuario pueda expresar su conocimiento sobre el problema con el objetivo de maximizar el aprovechamiento del grid para su problema.

El tema de portales es entonces objeto de fuerte investigación pues es el punto donde distintas aplicaciones expresan sus requerimientos a servicios muy diversos. La tecnología de portales basados en arquitecturas de portlets [11] se está erigiendo como el estándar para abordar esta temática y parece adecuada para enfrentar este reto.

Sin embargo, aún queda mucho camino por recorrer, entre otras cosas porque al servicio de acceso se le agregan otros relacionados como envío de datos, recolección de resultados, monitorización y control de las aplicaciones una vez se encuentran en ejecución en el grid, etc. *(Ver Figura 1 en la siguiente página).*

El nivel de servicios expresa todo lo que el grid puede hacer por un usuario potencial. Es aquí donde las diferentes implementaciones se diferencian y es aquí donde el trabajo es más intenso para lograr la interoperabilidad de las distintas soluciones.

Ante la decisión de seleccionar una solución particular los administradores de sistemas distribuidos se enfrentan a alternativas que van desde tener el conjunto básico de servicios y a partir de ese conjunto construir la solución más adecuada (aproximación de Globus) hasta soluciones empresariales donde todo está ya integrado y donde se define tanto el conjunto de servicios disponibles como la manera par-

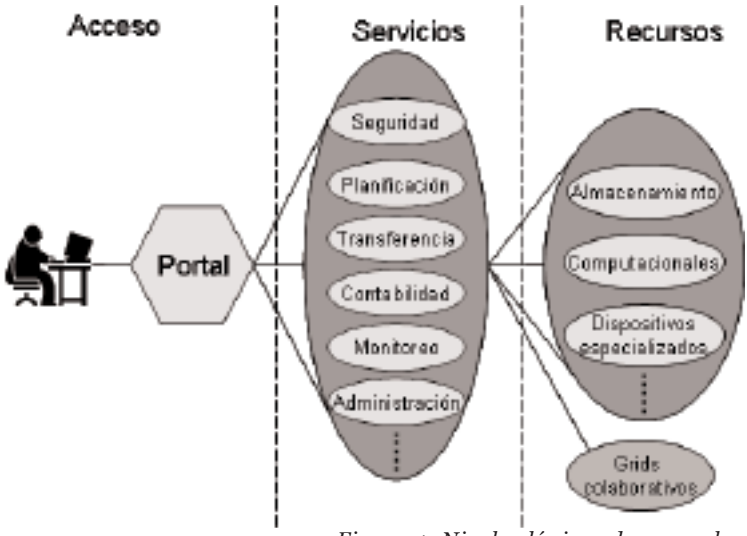

Figura 1. Niveles lógicos de una solución grid

ticular de interactuar con ellos (por ejemplo el SGE de Sun Microsystems).

Sin embargo, la mayoría de las soluciones se basan en el estándar de facto adoptado por la industria que es el definido por el Global Grid Forum (ahora Open Grid Forum) y cuya última implementación es el Globus Toolkit 4 (GT4) por lo que aunque la interoperabilidad no es automática, se presenta al menos como abordable. [12]. Por último, encontramos el nivel de los recursos físicos que son los que administran el nivel de servicios y que constituyen en última instancia la plataforma real donde se ejecutarán las aplicaciones.

Dependiendo del tipo de grid (cómputo, almacenamiento o colaboración) se encontrarán recursos de un tipo u otro. Es por esto que en este nivel además de computadores o grupos de computadores aparecen también dispositivos especializados como sensores, microscopios, telescopios, etc.

Cuando dentro de los recursos disponibles por un entorno de grid no se encuentran los necesarios para satisfacer el requerimiento de un usuario entran a participar los acuerdos e interoperabilidad con otros grids para poder responder finalmente al requerimiento original.

Lo anterior idealmente se debe dar de manera transparente para quien utiliza los servicios del grid (transparencia que debería sentirse incluso en los tiempos de respuesta, lo que supone un

soporte con redes de comunicaciones de alta velocidad).

Grid computing en el mundo

Grid computing se trata de colaboración y por lo tanto es lógico ver cómo se está colaborando en el mundo para acercarse al sueño de una malla computacional equivalente a la de otros servicios públicos. Aparecen entonces diversos proyectos de tipo local y regional que representan los esfuerzos de instituciones amigas o mejor, geográficamente asociadas, que aprovechando las recientes interconexiones a redes de alta velocidad dan un primer paso en la constitución de estos grids.

Estas asociaciones atraen a nuevos participantes y van así creciendo tanto en alcance geográfico como en recursos para abordar problemas cada vez más grandes. Esta evolución continúa de esta manera ad-hoc hasta que se organiza de una manera más estructurada y se convierten en iniciativas regionales, nacionales o continentales, de donde seguramente surgirá el grid mundial.

Los ejemplos más claros de lo anterior son los tres grandes proyectos que existen a nivel mundial de grid computing: Teragrid (U.S.A), Egee (Europa) y Pragma (zona pacífica).

Teragrid [13] es un proyecto que aglutina la capacidad de grandes centros de cómputo norteamericanos. De esta manera con pocos nodos, logran una capacidad coordinada difícil de igualar por una organización: 102 teraflops de poder de cómputo y 15 Petabytes de almacenamiento.

Egee (Enabling Grid for E-scienceE) [14] es el grid europeo que no sólo ha servido para unir las distintas infraestructuras europeas sino que ha servido de modelo para desarrollar otras iniciativas regionales (países del Báltico, Balcanes, Mediterráneo, India, China y Latinoamérica) y que con la integración de todas se logra el grid de alcance geográfico más importante actualmente. Este proyecto cuenta con más de 20.000 procesadores disponibles 24 horas al día para ejecutar aplicaciones del grid y con cerca de 5 Petabytes de almacenamiento.

Pragma [15] es un proyecto que promueve el uso de computación en grid para la realización de investigaciones científicas en los países de la zona pacífica. Actualmente participan 19 centros de 13 países distintos de la zona.

El punto común de las anteriores infraestructuras no es el middleware utilizado para compartir todos estos recursos, de hecho cada uno de ellos utiliza una solución diferente. El punto común ha sido la necesidad de basar esta infraestructura en redes de altísima velocidad para poder mover la gran cantidad de datos necesarios o generados por las aplicaciones que allí se ejecutan. El proyecto Internet 2 (U.S.A), Geant 2 (Europa) y APAN (Asia-Pacífico) son la materialización de estas necesidades, estos proyectos han tendido en sus regiones de influencia redes de alta velocidad que han permitido la construcción de estos proyectos de grid. Las velocidades de los enlaces en estas redes se miden en Gigabit por segundo.

Grid en el contexto regional

¿Será grid un proyecto exclusivo de los países más desarrollados? Los ejemplos mostrados hasta ahora parecerían así implicarlo. La respuesta por el contrario, es que de ninguna manera. Si grid se trata de acelerar, colaborar y optimizar estas son necesidades más que sentidas en otras latitudes. Donde hay mayores razones para aprovechar una tecnología de este estilo es allí donde los recursos de computación son escasos y de difícil acceso. Grid no es una tecnología para resolver problemas del primer mundo, es una tecnología que nos tiene que permitir abordar aquellos problemas de nuestras regiones y que al día de hoy no han podido ser resueltos por falta de recursos.

La predicción del tiempo local, análisis sismológicos y de otros fenómenos naturales, la búsqueda de vacunas para enfermedades tropicales, la aplicación de la bioinformática a nuestros cultivos, o la simulación de modelos adaptados a nuestro entorno son solo algunas ideas rápidas en donde una infraestructura de las características presentadas tiene mucho por aportar. De todas las características mencionadas como habilitadoras de la posibilidad de disponer de la tecnología grid en una región, hay una que se convierte en el cuello de botella de las regiones en vía de desarrollo: la disponibilidad de redes de alta velocidad. Y en este punto debemos hacer un reconocimiento al apoyo de la Unión Europea a través de su programa Alice (América Latina Interconectada Con Europa) para la implantación de la Red Clara (Cooperación Latino Americana de Redes Avanzadas) en Latinoamérica, que es una red académica de alta velocidad con cone-

xión a las redes Internet 2 (155 Mbps) y Geant 2 (622 Mbps). Como su nombre lo indica, Clara es el resultado de la interconexión de redes de nacionales académicas de alta velocidad y en Colombia, esa red se llama Renata (Red Nacional Académica de Tecnología Avanzada Colombia) de la cual hay un artículo completo en esta edición.

Pero para que estas redes tengan sentido, es necesario dotarlas de contenido y grid computing es una muy buena opción para extraer valor de ellas. Así lo ha entendido la comisión Europea que mediante el proyecto EELA (E-infrastructure shared between Europe and Latin America) ha impulsado la implantación de la tecnología grid apoyada sobre la red Clara y que viene trabajando desde el año pasado en tres frentes específicos [16]:

- Establecer una red de colaboración humana: el objetivo final es que los investigadores latinoamericanos establezcan redes de cooperación y compartan los recursos disponibles para optimizar su uso en la región.
- Construir un piloto de e-infraestructura en Latinoamérica: que implemente los mecanismos básicos para asegurar la interoperabilidad con otras iniciativas grid mundiales, particularmente con el proyecto EGEE de la Unión Europea.
- Identificar y promover un marco sostenible para e-ciencia: que incluye la identificación e implementación de aplicaciones de impacto en la región y las labores de difusión de la tecnología.

Al igual que Clara es dependiente de las redes nacionales, el fundamento de EELA se encuentra en las iniciativas grid nacionales. Aunque al día de hoy en EELA participan instituciones, es de esperar que este modelo evolucione hacia la unión de grids nacionales, pero para eso los países tendrán que construir sus infraestructuras propias en las cuales se realicen investigaciones de impacto nacional. Un ejemplo de un proyecto de estas características es CLGrid [17] que en Chile ha logrado aglutinar recursos para realizar estudios sobre problemáticas propias de ese país.
Colombia no es ajena a esta dinámica y aunque al día de hoy no hace parte del proyecta EELA se están gestando varias iniciativas en esta dirección. Para marzo en la universidad de Los Andes se organizará un seminario internacional en el tema de grid computing con un tutorial sobre administración y ejecución de aplicaciones en g-lite imparti-

do por el proyecto EELA para formar a las instituciones colombianas en esta tecnología.

Es de esperar que esta actividad sea también un impulso a la iniciativa grid-Colombia recientemente presentada a las universidades a través de Renata con el auspicio de la Agenda de Conectividad.

Adicionalmente, en Agosto se realizará en Santa Marta un Congreso Latinoamericano de Computación de Alto Rendimiento donde se espera mostrar el trabajo de investigadores latinoamericanos en el área. Estas actividades serán el punto de inflexión para aglutinar los diferentes intereses en el tema y lograr el concurso de todos aquellos que tienen relación con el tema: gobierno, universidades, institutos de investigación, centros de información, industria local, etc.

Referencias

[1] S. Saroiu. K. Gummadi, R. Dunn, S. Gribble, H. Levy, "An Analysis of Internet Content Delivery Systems", Proc. Usenix OSDI 2002, pp. 315-328

[2] Clabby Analitics, "The Grid Report", 2004. Literatura IBM sobre grid computing en http://www-1.ibm.com/grid/grid_literature.shtml

[3] BOINC - Berkeley Open Infrastructure for Network Computing, http://boinc.berkeley.edu

[4], C. Longbottom, Qoucirca Ltd., "Business Grid Computing The evolution of the infrastructure", consultado 1 de Noviembre 2006, disponible en http://www.quocirca.com/pages/analysis/reports/view/store250/item1515/

[5] Sun Microsystems en http://sun.com/grid

[6] NOVOTNY Jason, RUSSELL Michael, WEHRENS Oliver. "GridSphere: A Portal Framework for Building Collaborations"

[7] Hewlett.Packard en http://h71028.www7.hp.com/enterprise/cache/125369-0-0-225-121.html

[8] B: Jacob, M. Brown, K. Fukul, N. Trivedi, "Introduction to Grid Computing", IBM RedBooks, 2005

[9] I. Foster, C. Kesselman, Editors, "The grid 2: blueprint for a new computing", Morgan Kaufmann; 2 edition, 2003

[10] I. Foster, "What is the Grid? A Three Point Checklist", Argonne National Laboratory Technical Report, 2002

[11] JSR168 Portlet Specification. http://jcp.org/en/jsr/detail?id=168

[12] http://www.ogf.org

[13] http://www.teragrid.org

[14] http://www.eu-egee.org/

[15] http://www.pragma-grid.net/

[16 http://www.eu-eela.org/

[17] http://clgrid.reuna.cl

Harold Castro, Ph.D. *Ingeniero de Sistemas y Computación de la Universidad de los Andes, D.E.A. y Doctor en Informática del Instituto Nacional Politécnico de Grenoble, Francia. Actualmente profesor asociado, director del grupo de investigación COMIT (Tecnología de información y comunicaciones) y coordinador de la Especialización en Software para Redes del Departamento de Ingeniería de Sistemas y Computación de la Universidad de los Andes.*