

Procesamiento y accesibilidad de datos LiDAR a través de aplicaciones distribuidas

Integración del estándar *OpenGIS Web Processing Service* y la Arquitectura GRID Computing

Fernández-Rivas, Jayson¹; Siabato, Willington²

¹ Estudiante de Doctorado. Universidad Politécnica de Madrid

² Asistente de Investigación. Universidad Politécnica de Madrid

Autovía de Valencia, Km. 7.5 ETSI Topografía, Geodesia y Cartografía E-28031 Madrid-España.

Resumen

El procesamiento masivo de información obtenida a través de sensores LiDAR (*Light Detection and Ranging*) excede fácilmente las posibilidades de procesamiento de los ordenadores convencionales. Actualmente, organizaciones públicas y privadas acumulan grandes colecciones de datos derivados de este tipo de sensor sin que los usuarios puedan tener acceso a ellos de manera ágil y eficiente. El elevado coste de las licencias y la complejidad del software necesario para procesar un conjunto de datos derivados de sensores LiDAR, reduce significativamente el número de usuarios con herramientas para su explotación a un número limitado de proveedores. Ante esta perspectiva, han surgido nuevos esfuerzos que se concentran en hacer que esta información sea accesible para cualquier usuario.

En este artículo se discuten algunas de las soluciones que sirven de apoyo al procesamiento remoto y la accesibilidad de datos LiDAR mediante el uso del estándar *OpenGIS Web Processing Service* implementado en una arquitectura GRID Computing. Se identifican los resultados de investigaciones recientes y los avances alcanzados en el marco de las Infraestructuras de Datos Espaciales. Estos trabajos facilitan el tratamiento, distribución y acceso a los datos en cuestión, y son la base para futuros estudios y propuestas locales y regionales.

PALABRAS CLAVE

LiDAR, OGC, WPS, GRID Computing.

1. INTRODUCCIÓN

El uso de datos provenientes de sensores Escáner Láser Aerotransportado (ALS por su sigla en inglés) o LiDAR (*Light Detection and Ranging*) se ha incrementado durante los últimos años [1], esto se debe a la gran utilidad de esta tecnología para la generación de Modelos Digitales de Elevaciones (MDE) de alta resolución y al papel que juegan estos modelos en muy variados ámbitos que van desde la generación de modelos tridimensionales urbanos, hasta la planificación de auxilio y ayuda en caso de desastres naturales[2]¹. Sin embargo, la inmensa cantidad de información capturada mediante esta tecnología, resulta ser un gran inconveniente en cuanto al almacenamiento, visualización, procesamiento e intercambio de los datos y sus productos derivados ¡Error! No se encuentra el origen de la referencia..

Dado que el almacenamiento y el procesamiento de conjuntos de datos LiDAR de alta calidad pueden ser difícilmente manejables con los actuales sistemas de información geográfica de escritorio [1][4], existe la necesidad de contar con mejores técnicas para el procesamiento y gestión del almacenamiento de conjuntos de datos masivos LiDAR [5].

Ante la gran complejidad del flujo de información de los datos LiDAR y las limitaciones de las herramientas y software para manejar este conjunto de datos, instituciones académicas, sectores del gobierno y corporaciones comerciales alrededor del mundo se han puesto en la tarea de encontrar soluciones a sus requerimientos de acceso internacional e interoperable de grandes cantidades de datos espaciales distribuidos y heterogéneos, servicios, habilidades espaciales y otras facilidades [6] que atiendan a las actuales necesidades de los cada vez mas grandes conjuntos de datos LiDAR.

Pero, ¿cómo enfrentar la creciente demanda de recursos para el procesamiento de datos LiDAR, sin aumentar significativamente el tiempo de ejecución, disminuyendo a la vez la inversión de capital?

Algunos autores[7][8][9][10] han sugerido que la mejor forma de superar este problema es a través del uso combinado de estándares, tales como el *OpenGIS Web Processing Service* y el uso de Arquitecturas GRID Computing, a fin de lograr un alto desempeño y gran capacidad de almacenamiento.

Este artículo tiene como finalidad realizar un análisis de las soluciones existentes a este respecto, presentando los esfuerzos realizados en la elaboración de herramientas para el almacenamiento y procesamiento de datos LiDAR,

¹ apud [11]

discutiendo las soluciones referentes al procesamiento remoto, accesibilidad a los datos mediante la utilización de infraestructura de datos espaciales y el uso colectivo de redes y bases de datos, que facilitan el tratamiento, distribución y acceso de los datos LiDAR.

La realización de un artículo que resuma los avances y tendencias científicas en el tratamiento de datos LiDAR resulta de interés, ya que permite el seguimiento de los últimos desarrollos, promoviendo un acercamiento entre los diferentes actores y desarrolladores de conocimiento, permitiendo además la identificación de instituciones en donde la experimentación y estandarización se está llevando a cabo.

El resto de este artículo está estructurado como sigue: En la sección 2 se presenta un acercamiento al procesamiento tradicional de los datos LiDAR, se realiza una breve introducción de los conceptos fundamentales de *OpenGIS Web Processing Service* (WPS) y una introducción general acerca de GRID Computing. En la sección 3 se presentan brevemente las aproximaciones más representativas de procesamiento de datos LiDAR por medio de la integración de una infraestructura de datos espaciales dentro de un ambiente GRID. Finalmente, en la sección 4 se incluyen las conclusiones y se discute la posible aplicación en trabajos futuros.

2. TECNOLOGÍAS

Esta sección ofrece una introducción general a la tecnología LiDAR, comentando los fundamentos básicos, los datos originales que se obtienen de un vuelo y las aplicaciones o productos finales que se pueden generar a partir de los datos capturados. Seguidamente se realiza una breve descripción de las tecnologías implicadas más importantes en procesamiento y accesibilidad de geodatos como son estándares *OpenGIS Web Processing Service*. Para finalizar se introducirá el concepto de Arquitecturas GRID Computing cuya comprensión es necesaria para conseguir una idea clara y global del problema planteado.

2.1. LiDAR AEROTRANSPORTADO

El sistema LiDAR Aerotransportado (*Light Detection and Ranging*), es un sistema óptico de medición de luz reflejada por objetos lejanos, que determina distancias a partir del tiempo que tarda cada pulso emitido por el sensor en llegar a la superficie y volver. Estas distancias combinadas con la información proporcionada por los sistemas GPS (*Global Positioning System*) e IMU (*Inercial Measurement Unit*) sistemas de orientación y posicionamiento preciso del avión, permiten obtener las coordenadas x, y, z de los elementos de la superficie [11].

El proceso entero de producción de datos LiDAR se puede dividir en 3 partes: (i) captura, (ii) procesamiento y (iii) entrega de productos finales.

Durante la captura de datos el Sensor LiDAR aerotransportado escanea la superficie de manera perpendicular al vuelo, capturando la información de la superficie del terreno en forma de densas nubes de puntos. Una ventaja en la captura de información de LiDAR es que a diferencia de otros sensores, el sensor LiDAR es activo, esto significa que puede capturar información sin tener en cuenta el ángulo solar e incluso es posible obtener información durante la noche, aunque deban evitarse la realización de vuelos en condiciones de vientos fuertes, nevada, lluvia, niebla y elevada humedad [11]. Otra ventaja de la tecnología LiDAR consiste en la posibilidad de penetración de cada pulso emitido a través de hojas o cubiertas delgadas, permitiendo la captura de hasta 4 retornos (ecos) por pulso. Esto facilita medir la altura del terreno en zonas completamente cubiertas por la vegetación, con una precisión vertical inferior a los 15 cm, dichas ventajas no son posibles con técnicas de medición altimétrica clásicas como la fotogrametría.

El Procesamiento se realiza una vez la nube de puntos es capturada, en esta fase varias intervenciones automáticas (algoritmos automáticos de clasificación, filtrado automático de errores, etc.) e intervenciones manuales (edición por parte de un usuario experto) deben ser aplicadas para segmentar, editar, clasificar y modelar los puntos medidos. Estos pasos usualmente requieren una gran capacidad de almacenamiento para ejecutar productos intermedios y controles de calidad específicos, también es necesario personal experimentado en el manejo de un complejo y costoso software.

Las aplicaciones que trabajan con estos datos están diseñadas para crear e interpolar redes triangulares (TINs²), y dado que los datos deben ser leídos en memoria, las TINs deben ser creadas en segmentos. Este requerimiento implica que para procesar la nube de puntos es indispensable dividirla en grupos más pequeños.

Existen diferentes herramientas tanto comerciales como *Open Source*, para el tratamiento y procesamiento de los datos LiDAR. Dentro de las plataformas comerciales encontramos TerraScan, software propietario líder en el mercado, desarrollado por la empresa Terrasolid. En el ámbito de herramientas en código abierto, el Sistema de Soporte de Análisis de Recursos Geográficos (*Geographic Resources Analysis Support System*, GRASS) se reconoce como la plataforma open source más prominente, construido a través de aportes investigativos de instituciones educativas como el Laboratorio de Geomática de la Universidad Politécnica di Milano. Una breve descripción y comparativa de las herramientas más ampliamente utilizadas en la actualidad para el procesamiento de datos LiDAR pueden ser encontradas en ¡Error! No se encuentra el origen de la referencia. y ¡Error! No se encuentra el origen de la referencia..

Para el tratamiento y procesamiento de los datos LiDAR, la mayoría las herramientas procesan los datos almacenados, en el formato LAS³, un formato estándar de intercambio de nubes de puntos tridimensionales LiDAR

² Triangulate Irregular Network

creado por la *American Society for Photogrammetry and Remote Sensing (ASPRS)*⁴, este formato almacena para cada punto de la nube los valores x, y, z, además de los valores de intensidad y número de retorno (eco). También puede almacenar los campos definidos por el usuario durante el procesamiento de la información, como por ejemplo la clasificación de cada punto en una categoría asignada (Ver Figura 1).

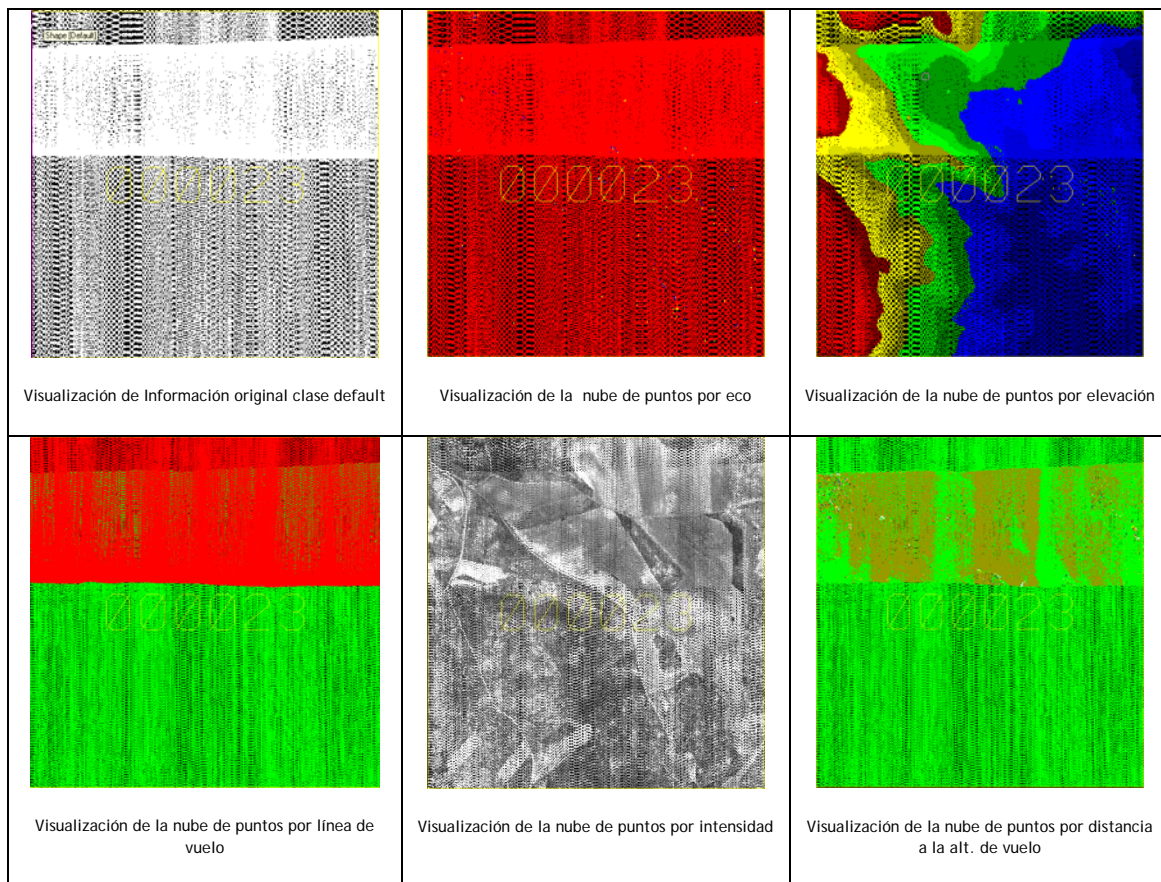


Figura 1: Visualización información capturada contenida en formato LAS
Fuente: Elaboración propia.

La entrega de datos LiDAR y productos derivados al cliente o usuario final es la última parte del proceso, García [14] enumera los productos finales estándar (ver figura 2), que se podrían clasificar en: (i) Nubes de puntos y (ii) Modelos Digitales de Elevación (MDEs).

Nubes de Puntos

- Nube de puntos irregular correspondiente a los puntos LiDAR originales: se entrega la nube de puntos LiDAR bruta clasificada generalmente en una categoría (Default).
- Nube de puntos clasificada: se obtiene a partir algoritmos de clasificación automática aplicados a la nube de puntos bruta. Estos algoritmos clasifican cada punto de acuerdo a su posición relativa con respecto a los sus puntos más cercanos dentro de la nube. Las clases pueden ser suelo, vegetación (alta media baja), edificios, ruido, solape entre pasadas, líneas eléctricas, puentes, etc.
- Imagen de intensidades: se obtiene a partir de la amplitud de la señal que retorna al sensor después de rebotar en la superficie terrestre. La imagen de intensidades permite realizar distinciones entre superficies.

Modelos Digitales de elevación

- Modelo Digital de Superficie (MDS): se obtiene interpolando solo los puntos del primer pulso recibido. Aquí podemos distinguir las alturas de las construcciones, vegetación, puentes, coches, farolas, etc.
- Modelo Digital del Terreno (MDT): se obtiene interpolando los puntos del último pulso recibido, eliminando los puntos que no pertenecen al terreno, generándose así un modelo sin edificios, sin vegetación y sin los

³ Por sus siglas en inglés Log ASCII Standard

⁴ <http://www.asprs.org/>

demás objetos que se encontraban sobre la superficie del terreno al momento de la captura de la información.

- Modelos derivados de las anteriores: MDT-Puentes, MDT+Edificios-Puentes, etc.

Los formatos más reconocidos en la entrega de esta información son: LAS, para la nube de puntos y sus clasificaciones y ECW, TIFF, XYZ, ASCII para Modelos digitales de elevación (MDT, MDS, etc).

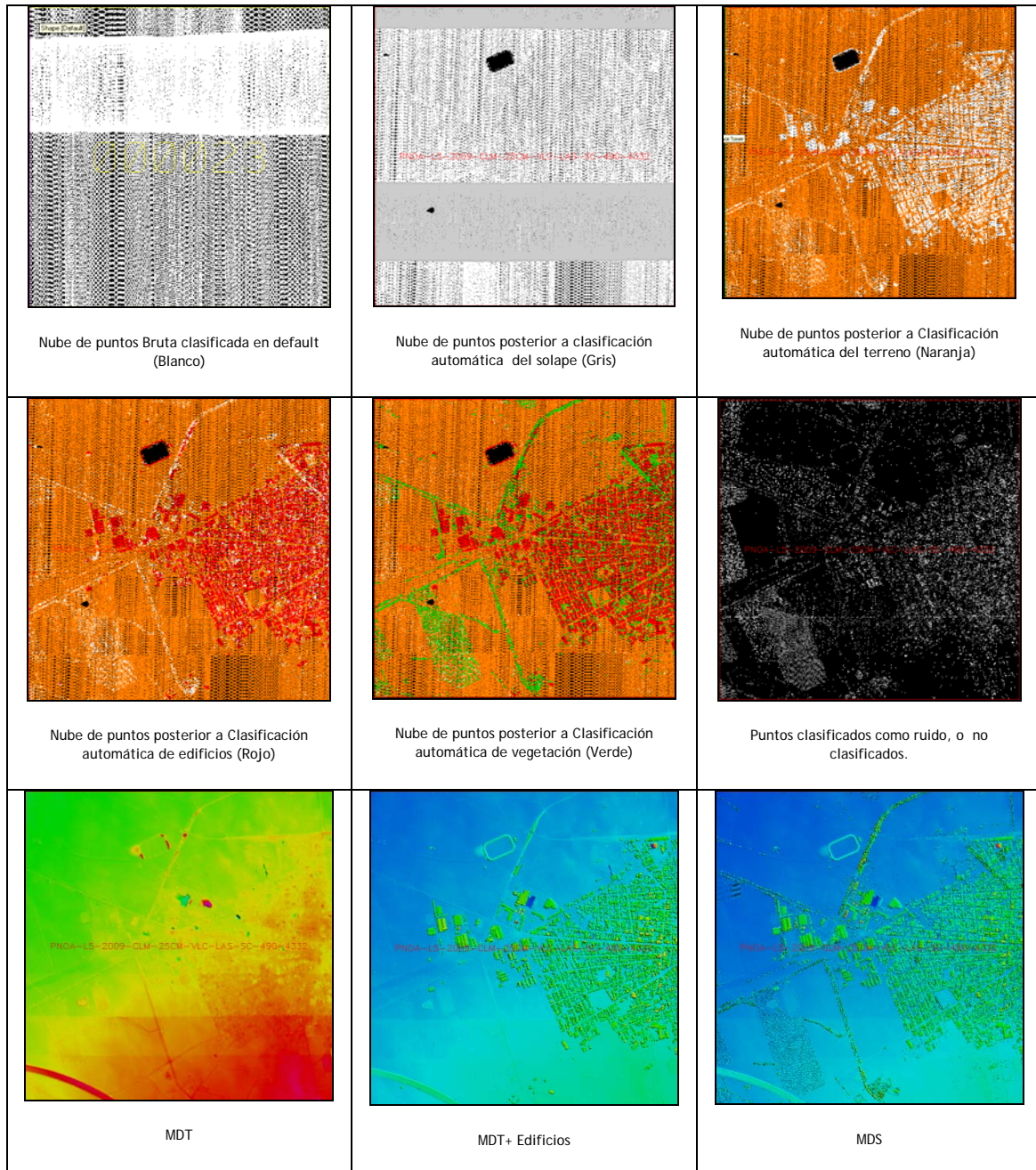


Figura 2: Productos Finales estándar
Fuente: Elaboración propia.

2.1.1 APLICACIONES DATOS LiDAR

Flood [2]⁵ y Friker *et al.* [11] describen las principales aplicaciones de los sistemas de altimetría láser: (i) generación de Modelos Digitales de Elevación (MDE), (ii) gestión de recursos forestales, (iii) generación de modelos tridimensionales urbanos, (iv) cartografía de riesgos de avenidas e inundaciones, (v) cartografía de elementos lineales como vías de comunicación y servicios, (vi) cartografías de zonas de acceso complejo (Zonas pantanosas o de

⁵ apud [11]

abundante vegetación), (vii) cartografía de zonas costeras, (viii) planificación de auxilio y ayuda en el caso de desastres naturales (promoviendo la actualización rápida y precisa de las zonas afectadas).

Aunque inicialmente la tecnología LiDAR fuera recibida con escepticismo, durante los últimos años se ha gestado un cambio de perspectiva y actualmente la comunidad geográfica la acepta como un soporte óptimo para la captura y generación de datos e información que involucra el modelado de elevaciones, alturas y demás elementos relacionados.

El láser altimétrico ofrece capacidades técnicas únicas, bajo coste de operación en campo y reduce el tiempo de postproceso y el esfuerzo comparado con los métodos tradicionales [2]. "Con los sistemas LiDAR comerciales actuales, es posible capturar datos con una densidad de hasta 1.000 puntos por segundo. Así, una hora de vuelo puede generar más de 4.000.000 puntos, que permiten la generación de MDE de elevada precisión. Es posible cubrir un área de 1.000 km² en un tiempo inferior a 12 horas obteniéndose un MDE final al día siguiente con más de 40.000.000 de puntos, equivalentes a más de 40.000 puntos/km². Si se trata de un trabajo lineal se puede realizar el MDE de una banda de 500 km de longitud en una mañana, estando los resultados preparados al día siguiente" [2][11].

Grandes cantidades de nubes de puntos LiDAR están siendo colectados por diversas organizaciones de sectores públicos y privados, sin embargo, los algoritmos aplicados a estos datos son algunas veces insuficientes frente a la gran cantidad de información que debe ser procesada y almacenada. Sólo algunos proveedores pueden permitirse los recursos (software y hardware comerciales) para el tratamiento de datos LiDAR brutos. "Los usuarios finales no pueden manejar los datos LiDAR originales, ni tienen la capacidad de realizar un control de calidad adecuado de los trabajos que contratan, ni corregir errores en dichos productos"[15]. Por esta razón los geoinformáticos trabajan para que en el futuro sea posible para cualquier usuario, incluso para aquellos no especializados, acceder a esta información, personalizar el software, modificar los algoritmos con el objeto de adaptarlos para su proyecto particular y compartir toda esta información en la Web.

2.2. INFRAESTRUCTURA DE DATOS ESPACIALES (SDI) Y ESTÁNDARES DEL OPEN GEOSPATIAL CONSORTIUM (OGC)

El OGC⁶ es la organización internacional que promueve la interoperabilidad y el intercambio de recursos y servicios geoespaciales en un ambiente distribuido, a través del desarrollo e implementación de especificaciones basadas en el consenso de políticas, especificaciones y recomendaciones [16]. Las especificaciones de la OGC son ampliamente usadas por la comunidad geoespacial para el intercambio de datos y recursos.

Para compartir, acceder y facilitar la interoperabilidad de datos espaciales, la comunidad geoespacial ha desarrollado un conjunto de tecnologías, estándares y protocolos de intercambio, entre los que destacan las especificaciones propuestas por el Open Geospatial Consortium (OGC), el Comité Técnico 211 y la Familia de estándares ISO 19100. Una amplia descripción de estos servicios puede ser consultada en [17].

La distribución, visualización y el acceso a información geográfica raster y vector, junto con la capacidad para buscar datos espaciales estaban cubiertos por los estándares OGC; *Web Map Service (WMS)*[18], *Web Feature Service (WFS)*;Error! No se encuentra el origen de la referencia., *Web Coverage Service (WCS)*;Error! No se encuentra el origen de la referencia., y *Catalogue Service for the Web (CSW)*;Error! No se encuentra el origen de la referencia., pero existía una carencia de un estándar reconocido para procesamiento de datos espaciales distribuidos. Este aspecto fue solucionado mediante la creación de *Web Processing Service (WPS)*, el cual ha sido aprobado como un estándar oficial por la OGC en diciembre 2007 ;Error! No se encuentra el origen de la referencia..

I. Web processing service (WPS)

El WPS fue desarrollado para ofrecer algún tipo de funcionalidad de procesamiento de GIS para una interfaz estandarizada a través de Internet, proporcionando normas para describir cualquier proceso, así como la forma para realizar las peticiones al proceso y de responder dicha petición. El estándar WPS también define cómo un cliente puede solicitar la ejecución de un proceso. Esta especificación fue publicada por OGC en su primera Versión en 2004 y en 2007 se liberó la versión 1.0.0. De acuerdo con la especificaron OGC WPS hay 3 operaciones obligatorias que pueden ser solicitadas por un cliente y realizada por un servidor, estas operaciones son: *GetCapabilities*, *DescribeProcess*, y *Execute* ;Error! No se encuentra el origen de la referencia..

Algunos de los proyectos o paquetes de software más representativos de servidores WPS son: *Deegree Framework*⁷, *WPSint*⁸, *pyWP*⁹ (*Python Web Processing Server*), 52 North WPS, Estos proyectos generalmente en código abierto implementan la mayoría de estándares de OGC. Un análisis comparativo de las actuales implementaciones estándar WPS, puede ser consultado en [23].

Las especificaciones OGC Web Services permiten el acceso de datos geoespaciales en un ambiente distribuido, sin importar el formato, proyección, resolución o la ubicación del archivo. Sin embargo algunas de las aplicaciones basadas en especificaciones OGC consumen mucho tiempo en cálculos intensivos. Para alcanzar un alto desempeño en el procesamiento y capacidad de almacenamiento, los datos LiDAR requieren el uso de tecnologías GRID, diseñadas para compartir datos, capacidad de almacenamiento y poder computacional, dentro de Organizaciones virtuales (VO)[9].

⁶ <http://www.opengeospatial.org/>

⁷ <http://www.deegree.org>

⁸ <http://wpsint.tigris.org>

⁹ <http://pywps.wald.intevation.org/>

2.3. TECNOLOGÍA GRID

GRID es una tecnología en rápido desarrollo, motivada por la actual demanda de las ciencias e ingeniería, de sofisticadas herramientas de cómputo que permitan compartir recursos geográficamente distribuidos. La visión del GRID es que sus usuarios compartan recursos, software, datos e información y coordinen la resolución de problemas a través de organizaciones virtuales dinámicas y multi-institucionales [24].

De acuerdo con Foster un GRID es un sistema que “Coordina recursos que no están sujetos a un control centralizado a través del uso de protocolos e interfaces estándar, abiertos y de propósito general, para la entrega de servicios de calidad no trivial” [25].

El uso coordinado de recursos geográficamente distribuidos hace posible aplicaciones como la colaboración y computación distribuida, el acceso, análisis y procesamiento de datos distribuidos. Dentro de las ventajas de utilización destacan: reducción de los costes para adquisición de hardware, la mejora de los recursos de almacenamiento y cómputo bajo demanda y el manejo de operaciones en forma segura [10]

En la actualidad la tecnología GRID ayuda a los científicos a tratar grandes conjuntos de datos mediante el uso de colaboraciones remotas complejas, trabajos computacionales distribuidos, instrumentación remota, transferencia de datos remota y espacios de almacenamiento compartidos [26]. La demanda de procesamiento eficiente y administración de datos ha hecho a las infraestructuras GRID un componente esencial en un amplio rango de dominios científicos[27]. Un número importante de proyectos GRID distribuidos de gran envergadura se han desarrollado por todo el mundo en computación científica y técnica para investigación y educación, tanto para uso operativo como para demostraciones técnicas. De esta manera se ha alcanzado un consenso considerable en los conceptos y tecnologías claves [9].

La organización encargada de Coordinar el desarrollo de la tecnología GRID en el mundo es el *Open GRID Forum* (OGF) que dirige la adopción de aplicaciones distribuidas, así como la estandarización. La OGF tiene una serie de estándares dentro de *Web Services Resource Framework* (WSRF) que implementa los servicios Web requeridos por *Open GRID Service Architecture* (OGSA).

El Web Service Resource Framework (WSRF) es un estándar abierto que define los servicios Web para GRID computing, es decir, es la infraestructura sobre la cual está construido el OGSA.

La OGSA es la arquitectura abierta y estándar para el desarrollo de aplicaciones GRID, tiene el propósito de normalizar los servicios o acciones habituales tales como gestión de tareas, de recursos y de seguridad. También define los interfaces a estos servicios. Esta arquitectura esta basada en *Service Oriented Architecture* (SOA), y por consiguiente hereda las propiedades y capacidades de *Simple Object Access Protocol* (SOAP) y *Web Service Description Language* (WSDL), especificaciones que formalizan la sintaxis para describir los servicios Web, así como la forma de comunicación, es decir, los formatos de los mensajes necesarios para interactuar con los servicios listados en un catálogo.

2.1.2 GLOBUS TOOLKIT

Globus Toolkit es un *open source middleware* compuesto por un conjunto de servicios y librerías de software que permite el descubrimiento, la gestión, el control de recursos, además de seguridad y manejo de datos. Considerado una de las claves para el éxito del GRID, permite el uso compartido de poder de cómputo, bases de datos y otras herramientas online de manera segura a través de empresas, instituciones y límites geográficos sin sacrificar la autonomía local. Globus Toolkit facilita la integración de sistemas GRID, permitiendo un rápido acoplamiento de ordenadores, bases de datos, instrumentos y usuarios expertos. Con Globus Toolkit los científicos pueden ejecutar enormes e inacabables procesos en múltiples máquinas de alto desempeño al mismo tiempo, aún cuando estas máquinas puedan estar localizadas muy lejos o puedan pertenecer a diferentes organizaciones [26].

Desde la versión 1.0 de 1998, pasando por la versión 2.0 liberada en 2002 y la última versión 4.0 basada en un nuevo *Open-standard GRID Services*, Globus Toolkit se ha convertido rápidamente en el estándar por defecto para la mayoría de las grandes implementaciones GRID [26].

Una de las contribuciones más importantes de los GRID es la posibilidad de permitir y simplificar la colaboración entre Organizaciones Virtuales (VO) enormes agrupaciones de usuarios; pero la privacidad de estos recursos debe ser garantizada, para que sólo usuarios autorizados puedan acceder. Por esta razón, la seguridad se ha convertido en el mayor problema y requerimiento del GRID [8]. Este problema ha sido solucionado en la última versión Globus Toolkit 4 (GT4) con la inclusión de mejores funcionalidades de seguridad como la *GRID Security Infrastructure* (GSI).

Además de esto, GT4 contiene un componente *Web Service-base GRID Resource Allocation and management* (WSGRAM) usado como recurso computacional para activar, monitorizar y cancelar trabajos del GRID.

3. CASOS DE USO DE PROCESAMIENTO Y ACCESIBILIDAD DE DATOS LIDAR MEDIANTE APLICACIONES DISTRIBUIDAS.

En este apartado se muestra un breve resumen de las aproximaciones para la realización de un procesamiento efectivo de datos LIDAR por medio de la integración de una infraestructura de datos espaciales dentro de un ambiente GRID. Las aplicaciones a continuación descritas han sido seleccionadas por considerarse representativas, y

ser casos de éxito además de referentes para al comunidad científica especializada en el procesamiento de datos LiDAR.

Es importante aclarar que aplicaciones como *LIDAR Server* desarrollada por la empresa norteamericana QCoherent¹⁰ no han sido incluidas en este apartado, por tratarse de aplicaciones comerciales que requieren el pago de licencia, además han sido descartadas aquellas aplicaciones no realizan servicios distribuidos.

3.1. GEON LiDAR WORKFLOW (GWL)

The Geosciences Network (GEON) se inició en 2002 en Estados Unidos como un proyecto financiado por la NSF¹¹ en el marco del programa de investigación de las Tecnologías de la Información. El proyecto comenzó como una investigación colaborativa entre una docena de instituciones para desarrollar una ciberinfraestructura (portal¹²) con el fin de apoyar el intercambio e integración de datos entre la comunidad de ciencias de la tierra. Actualmente, cuenta con más de 20 socios entre los que se encuentran agencias gubernamentales, empresas, universidades, centros de investigación, destacando la Universidad de Arizona y San Diego Supercomputer Center de la Universidad de San Diego California.

Uno de los servicios de GEON es la distribución, interpolación y análisis de nubes de puntos LiDAR, para ello han realizado un acercamiento geoinformático aprovechando su portal, que permite a los usuarios realizar intensivos procesos computacionales de datos LiDAR, aún sin tener los recursos apropiados en su ordenador local. Este sistema da a los usuarios acceso a las bases de datos de su interés, además del acceso a herramientas básicas para procesar datos LiDAR. El objetivo fundamental de este proyecto es la democratización del acceso a nubes de puntos LiDAR para la geocomunidad. Permite a los usuarios realizar una selección de datos de la nube de puntos, procesarla y recibir entre otros elementos un MDE de alta resolución, todo esto a través de un portal interactivo en Internet. De esta manera sus desarrolladores buscan promover el uso de datos topográficos de alta resolución en la investigación de las geociencias.

Para realizar un análisis eficiente y fiable de datos LiDAR en GEON requirieron el acceso a recursos GRID distribuidos y heterogéneos. La dificultad de coordinar estos recursos distribuidos, que además cuentan con diferente hardware y software, hizo necesaria la creación de interfaces y herramientas adaptables y configurables. Con este propósito GEON desarrolló en el año 2006 una solución basada en una arquitectura de tres capas (Ver figura 3): (i) un portal como interfaz de usuario, (ii) un sistema de flujo de trabajo basado en *Kepler scientific workflow system*¹³ para la coordinación de recursos distribuidos y (iii) un conjunto de algoritmos de procesamiento implementados sobre tecnología GRID. [27]

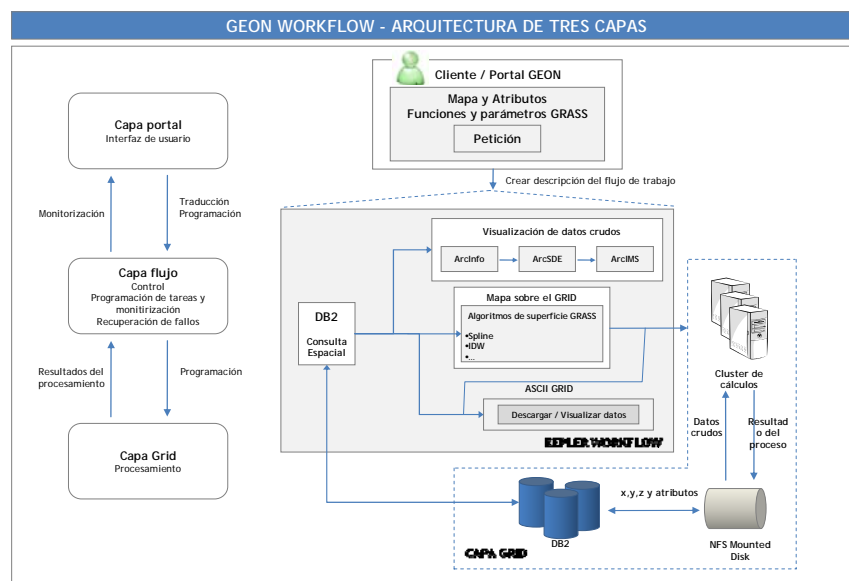


Figura 3: Arquitectura GEON
Fuente: Basado en [27]

Cada capa cumple con las siguientes funciones:

¹⁰ <http://qcoherent.com>

¹¹ <http://www.nsf.gov> (US National Science Foundation)

¹² <http://www.opentopography.org>

¹³ <https://kepler-project.org>

- a) *Portal layer*: habilita al usuario para seleccionar un conjunto de datos a través de herramientas de selección de datos geográficos y alfanuméricos implementados con servicios WMS. Además le permite seleccionar algoritmos de procesamiento y los productos derivados deseados. El flujo de trabajo es creado en el momento y es definido por el *Kepler Workflow Manager*.
- b) *Workflow layer*: también llamado layer de control principal. Es la capa encargada de gestionar la comunicación entre el *portal layer* y el *GRID layer*. Es controlado por el *Kepler Workflow Manager (KWM)* que coordina los múltiples componentes distribuidos GRID, activa y monitoriza los trabajos dentro de los múltiples nodos y gestiona la transferencia de otros servidores externos y sus productos intermedios. Además, envía información sobre el estado de ejecución de los procesos al usuario a través del portal.
- c) *GRID layer*: también llamado layer de ejecución. Esta capa se encarga de distribuir el proceso en cada uno de los nodos GRID que participen en el procesamiento de los datos y hayan sido asignados por el KWM.

El GEON LiDAR Workflow (GLW) sigue la arquitectura propuesta en el KWM en la cual los datos y herramientas de procesamiento son accesibles a través de una infraestructura compartida y los procesos son coordinados de tal manera que permiten a los usuarios crear flujos de trabajo según sus necesidades y objetivos. Esta manera de construir componentes ofrece gran flexibilidad para conectar cualquier aplicación de procesamiento de datos, proporcionando un ambiente modularizado y personalizable.

GLW fue pionero en la utilización de KWM como *middleware* en portales dedicados a la gestión de recursos GRID distribuidos. El *Kepler scientific workflow system* proporciona un ambiente modularizado y configurable para acceder a los cluster GRID y ejecutar tareas de alto desempeño computacional. Permite coordinar los pasos del flujo de trabajo, facilitando que los componentes sean dinámicos y adaptables a las necesidades y a la disponibilidad de datos y de algoritmos de procesamiento. Además, a través de este *framework* es posible ofrecer geoprocursos típicos como *Triangular Interpolation Network (TIN)*, *Inverse Distance Weighted (IDW)*, *Kriging and Splined interpolation*, todos ellos basados en servicios Web de GRASS.

Otras características importantes son la generación dinámica de metadatos en el momento de descarga de los datos, que puede ser realizada en una gran variedad de formatos (GRID, ASCII, GeoTIFF y textfile). Cabe resaltar que en el momento de la implementación de KWM el OGC WPS no estaba aprobado ni se había publicado un borrador oficial.

3.2. PROYECTO SPATIAL DATA INFRASTRUCTURE-GRID (GDI-GRID PROJECT)

Este proyecto fue propuesto en verano de 2007 por el Ministerio de Educación e Investigación de Alemania (BMBF). Dentro de los principales socios se encuentran proveedores y usuarios de recursos y servicios cartográficos destacando el Centro de Cómputo de Lower Saxony, empresas como ESRI, Lat/Lon, GMBH y Stapeifelt GMBH e instituciones académicas alemanas como Technische Universität Kaiserslautern, Universidad Münster, Universidad de Hannover y Universidad de Bonn, quienes han realizado múltiples publicaciones y se han encargado de la divulgación científica de sus avances[1][8][11][25][28].

Durante el desarrollo del proyecto fueron implementadas diferentes tareas de obtención de MDEs dentro de WPS. Dichas tareas implicaron cálculos intensivos en tiempo y recursos, para lograr un desempeño eficiente de estos cálculos fueron necesarias las capacidades de procesamiento y almacenamiento GRID. Por ello, su objetivo se concentró principalmente en el procesamiento efectivo de datos espaciales LiDAR por medio de la integración de una SDI dentro de un ambiente GRID (SDI-GRID www.gdi-grid.de)

Para sus desarrolladores la implementación de conjuntos de WPS dentro de una infraestructura distribuida de aplicaciones GRID contó con muchos retos relacionados especialmente con la incompatibilidad entre los estándares SDI y GRID, específicamente en los siguientes aspectos: (i) Descripción de servicios, (ii) Servicios de interfaces, (iii) Servicios con estado, (iv) Mecanismos de seguridad. Una amplia descripción a este respecto puede ser consultada en [10].

En rasgos generales, estos inconvenientes de incompatibilidad en la comunicación son: los servicios GRID son descritos por medio de Web Service Description Language (WSDL) y se comunican por medio de Simple Object Access Protocol (SOAP) ambos estándares del W3C¹⁴. Mientras que los servicios Web SDI están basados en estándares de OGC e implementan obligatoriamente las operaciones GetCapabilities para describir servicios y se comunican mediante Hyper Text Transfer Protocol (HTTP) métodos GET y POST[4].

Servicio	W3C	OGC
Service Description	WSDL	GetCapabilities
Messaging	SOAP/XML	HTTP GET/POST, KVP, GML

Tabla 1: Fuente [4]

En cuanto a las diferencias de seguridad, *OGC Web Processing Services* no incluye declaraciones en cuanto a seguridad, más aún, no hay especificación para autenticar diferentes usuarios para un servicio, el mecanismo de seguridad es establecido según cada proyecto en específico. Por otro lado y a diferencia de esto, en las Tecnologías GRID la seguridad es muy importante y cada recurso puede ser asignado a un usuario en particular[10].

¹⁴ W3C El Consorcio World Wide Web, es una comunidad internacional que trabaja conjuntamente para desarrollar estándares Web.

La OGC consciente de la necesidad de utilizar infraestructuras GRID ha realizado acercamientos para describir OGC Web Services con WSDL y mensajería con SOAP. Además de esto, para conectar la Geocomunidad con la comunidad GRID, la OGC y la OGF han trabajado juntas para especificar interfaces e identificar las mejores prácticas, mejorando los existentes estándares GRID Computing y OGC; para ello, ambos organismos han firmado un memorándum de entendimiento y colaboración [10][4].

Los componentes principales del *WPS Terrain Grid-enable* se muestran en la Figura 4, una amplia descripción de estos componentes puede ser consultada en [4]. En primera instancia, el cliente accede a través del WPS, se autentica y posteriormente el WPS actúa como un cliente Grid que llama e implementa los servicios. Para asegurar la correcta autenticación del cliente y completa confidencialidad de los datos, se delega la autenticación por medio de la creación de un temporary Proxy para el servicio GRID. De esta manera el WPS proporciona al usuario una interfaz genérica para acceder a variedad de procesos geospaciales estandarizados, vía *getCapabilities*, *describeProcess* y *Execute*. Para acceder a los recursos GRID cada OGC WPS *execute* es delegado a su correspondiente *Geogrid service*. Las operaciones OGS WPS *Execute* están completamente incrustadas dentro de la infraestructura GRID como *geogrid services*, posibilitando ofrecer la ejecución de los procesos en paralelo en diferentes nodos de trabajo[3].

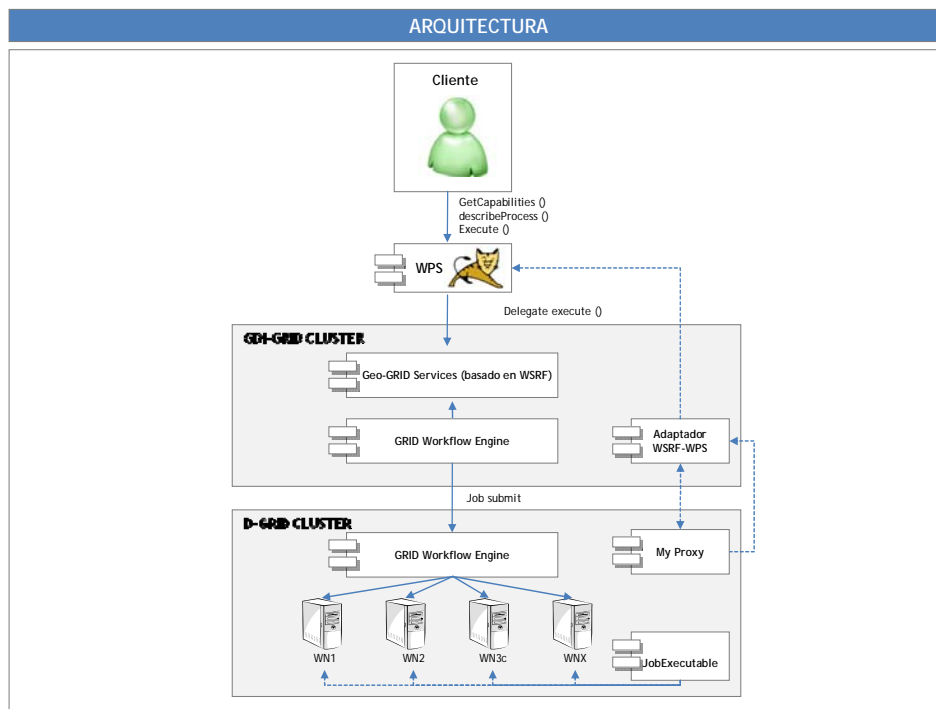


Figura 4: Arquitectura D-Grid: WPS Terrain Grid Enable
Fuente: [27]

Esta "Gridificación" de la infraestructura de WPS fue llevada a cabo dentro de un paquete de trabajo especial incluido en el proyecto, cuya primera versión fue desarrollada dentro de *Degree Framework* debido a que este que ofrecía los principales bloques para SDI basados en estándar OGC e ISO/TC 211. Los servicios fueron llevados a cabo como servicios GRID usando GT4 y para que los servicios de procesamiento del terreno interactúen unos con otros fue definido un flujo de trabajo para un *Web Service Orchestration* (OSM). Para encadenar varios servicios Web basados en diferentes tecnologías, los autores encontraron BPEL¹⁵ [8] como la mejor opción.

Como resultado de este proyecto sus desarrolladores han obtenido un conjunto de operaciones de procesamientos geométricos, computacionalmente intensivos y que cubren el vacío de un estándar OGC para funcionalidades de procesamiento MDE [7][4]:

Actualmente, el *Terrain Web Processing service* incluye servicios de generalización, geoteselación, particionamiento espacial, conversión y *streaming* de datos de MDE. Todos los servicios de integración, procesamiento y administración de datos espaciales que han sido desarrollados en este proyecto, son implementados dentro de la infraestructura de datos espaciales de Alemania (D-GRID Infrastructure). Además se han creado un número de escenarios de trabajo representativos, en los que la reconstrucción de superficies a partir de datos LiDAR juega un papel importante. Algunos casos de estudio que corroboran su utilidad incluyen prototipos creados para el trazado de rutas de emergencia, simulación de inundaciones y simulación de propagación del ruido [10].

¹⁵ Business Process Execution Language (Lenguaje de Ejecución de Procesos de Negocio con Servicios Web) es un "lenguaje estandarizado para la composición de servicios web" (<http://docs.oasis-open.org/wsbpel/2.0/OS/wsbpel-v2.0-OS.html>)

Mientras los servicios OGC de acceso a los datos WFS y WCS se benefician de los recursos de almacenamiento provistos por la infraestructura GRID, el WPS se beneficia de los recursos computacionales de GRID para el procesamiento. Además, la integración de integración de los servicios OGC con la *GRID Security Infrastructure* (GSI), permite contar con un alto nivel de seguridad en los procesos compartidos agregándola capa de seguridad en la arquitectura del sistema[10].

Los futuros temas de investigación de este grupo se orientan a la inclusión y validación de flujos de trabajo GRID Automatizados, que contengan llamadas para servicios Geoespaciales, así como el desarrollo de métodos para el preprocesamiento usando recursos GRID computing.

3.3. EL CASO ESPAÑOL: PROYECTO DielmoOpenLiDAR ANTE EL RETO DE INCORPORACIÓN DE TECNOLOGÍAS GRID

Este proyecto fue propuesto en 2008 por DIELMO 3D S.L., empresa española con varios años de experiencia en el desarrollo de software especializado para la generación de modelos digitales del terreno. El proyecto DielmoOpenLidar es presentado como una iniciativa para el desarrollo de un software libre basado en gvSIG¹⁶ que permita el acceso, visualización y análisis de nubes de puntos LiDAR originales, ha sido desarrollado en colaboración con el Ministerio de Fomento Español, la Dirección General del Instituto Geográfico Nacional de España, la Generalitat Valenciana y el Sistema Extremeño de Análisis Territorial (SEXTANTE). Su objetivo final es frenar la dependencia de casas comerciales para el tratamiento de datos LiDAR, evitando la compra de costosas licencias y actualizaciones de software comercial, brindando a los usuarios finales las herramientas de análisis necesarias para la generación de productos básicos (MDT, MDS, Imágenes de Intensidades, etc.) y la creación de productos finales de valor añadido.

Ante la gran dificultad que representaba trabajar con volúmenes masivos de datos LiDAR, DIELMO ha desarrollado una nueva metodología que consiste en procesar los datos LiDAR originales en formato LAS, para almacenarlos en un nuevo formato, indexándolos de tal manera que conservan toda la información original pero ordenada con un índice espacial específico que permite hacer búsquedas de forma inmediata sin necesidad de escanear todo el archivo. A partir de esta estructura de datos, han puesto en marcha varios servicios como servidores WMS y WCS para la visualización de datos LiDAR a través de Internet, y un servidor WPS para la descarga de datos originales por región o perfil [15].

El proyecto DielmoOpenLiDAR ha sido dividido en 3 fases, como resultado de la fase inicial, el software DielmoOpenLiDAR versión 1.0 (liberada en el 2008) permite visualizar grandes volúmenes de datos LiDAR brutos y sobreponerlos con otros datos geográficos; consultar y editar los valores originales de cada uno de los puntos; realizar un análisis visual de los datos y control de calidad. En cuanto a la distribución de datos originales, contiene un servicio Web que permite la descarga de un fichero comprimido de una selección realizada por el usuario usando peticiones básicas HTTP ¡Error! No se encuentra el origen de la referencia..

En una segunda fase aun en desarrollo, DielmoOpenLiDAR propone elaborar herramientas para la generación de productos básicos LiDAR (MDS, MDT, etc). Esta fase consistirá en elaborar herramientas de procesado de datos LiDAR dotando a gvSIG con algoritmos de cálculo automáticos e implementando herramientas de edición manual que permitan mejorar los procesos de control de calidad de los resultados. Las herramientas automáticas propuestas permitirán [30]:

- o Exportar entre los diferentes formatos de datos LiDAR.
- o Crear informes basados en el análisis de los datos.
- o Dividir todos los datos de un proyecto en bloques más pequeños (de forma manual o automática) que permitan el manejo de toda la información y rasterizar los datos LiDAR originales.
- o Realizar clasificaciones automáticas para determinar qué puntos pertenecen al suelo, edificios, vegetación, a fin de crear productos finales estándar.
- o Realizar el mosaico de bloques y exportar los productos finales a los formatos adecuados.
- o Desarrollar herramientas que permitan realizar un adecuado control de calidad de los productos finales.

En una tercera fase, los desarrolladores proponen la creación de nuevos productos de valor añadido a partir de los productos generados en la segunda fase. Desarrollarán herramientas inteligentes para:

- o Vectorización de estructuras de diferente tipo de geometría.
- o Estimación de parámetros forestales.
- o Extracción de curvas de nivel para la actualización de cartografía digital.
- o Mejora de los MDT para su utilización en estudios hidráulicos.

¹⁶ <http://www.gvsig.com>

Aunque los objetivos de la empresa son prometedores, el desarrollo de DielmoOpenLiDAR se encuentra en estado embrionario y tanto la fase dos como la tres, están aún por realizar. Tal vez sea recomendable tener en cuenta la experiencia presentada en los proyectos GEON y D-GRIDSDI, para su desarrollo.

4. CONCLUSIÓN

Tras presentar y analizar tres de las herramientas y especificaciones existentes para el procesamiento y manejo interoperable de los datos LiDAR y describir brevemente los elementos básicos de las tecnologías LiDAR, los servicios y estándares OGC y la arquitectura GRIDComputing, se pueden extraer las siguientes conclusiones.

Los acercamientos geoinformáticos en el procesamiento y almacenamiento descritos en este artículo presentan un avance en la manera en que los usuarios acceden y analizan datos provenientes del sensor LiDAR, mostrando el posible camino que seguirán los futuros recursos diseñados para facilitar el acceso, tratamiento y procesamiento de los geodatos. En este sentido, es claro el interés de la comunidad geográfica por desarrollar herramientas orientadas a facilitar el acceso a grandes volúmenes de datos, así como medios de procesamiento y recursos informáticos distribuidos e interoperables. Todo ello, derivado de las ventajas propias de la arquitectura GRID.

Los proyectos SDI-GRID, GEON, y DielmoLiDAR son ejemplo de que la geoinformática proporciona las herramientas suficientes para el desarrollo de nuevos enfoques en la gestión de datos masivos y la definición de métodos que optimicen y agilicen su procesamiento. Así mismo evidencian el creciente interés de la geocomunidad en la integración de las tecnologías GRID y las SDI. Gracias a dicha integración, las SDI ya no son vistas únicamente como un medio para compartir datos espaciales, sino también para ofrecer servicios y recursos computacionales robustos. La integración de estándares como el WPS en la arquitectura GRID mejora el desempeño de los servicios ofrecidos en la Infraestructuras de Datos Espaciales.

Por otro lado, en tanto los sensores y las tecnologías de captura de información geográfica tiendan a ser más sofisticadas, el volumen de los geodatos brutos a almacenar será mucho mayor y habrá una creciente necesidad de poder de cómputo y capacidad de almacenamiento. En dichos casos se requiere el acceso a recursos heterogéneos distribuidos para procesamiento, análisis, y visualización de los datos.

Comentarios finales

En España existen algunas empresas proveedoras de datos LiDAR, que prestan servicios de captura y suministro de productos, así mismo varias entidades públicas ya almacenan y mantienen esta información. Esto representa una disponibilidad cada vez mayor de datos LiDAR sobre grandes extensiones del territorio Español. Sin embargo, no se cuenta con un registro o catálogo efectivo de la información existente, ni tampoco con una interfaz adecuada de acceso a dicha información. Esta limitada accesibilidad implica un desaprovechamiento del enorme potencial de estos datos.

Con la elaboración de este artículo, se ha pretendido sentar las bases conceptuales para la producción de una interfaz efectiva que permita el procesamiento de datos LiDAR, basándonos en las experiencias previas de grupos de investigación de otras áreas geográficas, teniendo en cuenta sus recomendaciones a fin de replicar estos conocimientos, mejorándolos y adaptándolos a las necesidades específicas de la realidad española.

Pese a los grandes esfuerzos de algunos desarrolladores e instituciones gubernamentales, en España la distribución de datos LiDAR es aún problemática, debido al elevado volumen de datos y a que el análisis de la información no resulta trivial para usuarios no expertos en tecnologías LiDAR. A futuro, el almacenamiento y procesamiento de estas enormes cantidades de datos podría ser costoso en todos los sentidos. De no corregirse esta dinámica, el desarrollo se verá ahogado por el volumen de información.

Los casos mostrados, en que participan diversos centros educativos y entidades públicas y privadas parece ser un motivo de aliciente y punto de referencia para plantear un desarrollo similar ajustado a las particularidades de la IDEE. Es necesario incluir otras instituciones académicas que con las aportaciones de diferentes grupos de investigación potencien el desarrollo y mejoramiento de este tipo de herramientas.

Varias investigaciones a nivel mundial están soportadas en la infraestructura tecnológica de GRID Computing demostrando su efectividad. Por esta razón, se debe contemplar la posibilidad de migrar tecnológicamente las aplicaciones a entornos GRID a fin de facilitar el desarrollo de trabajos colaborativos, interdisciplinarios e interinstitucionales. Para un futuro trabajo se propone la gridificación de servicios y medios para potenciar la explotación de servicios y datos LiDAR en España.

5. REFERENCIAS

- [1] Lanig, S. & Zipf, A. 2009, 'Towards Generalization Processes of LiDAR Data based on GRID and OGC Web Processing Services', in *Geoinformatik 2009*, Osnabrück - Germany.
- [2] Flood, M. 1999, 'Commercial development of airborne laser altimetry', *International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing*, vol. 32, no. Part 3, pp. 13-21.
- [3] Christopher J. Crosby: *Cyber-GIS Opportunities for High-Resolution Topography Data Access, Processing, and Analysis* [Online], San Diego Supercomputer Center (22/02/2010) <http://www.opentopography.org/index.php/blog/detail/cyber_gis_opportunities_for_high_resolution_topography_data_access_processing> [Consulta: 07/08/2010]

- [4] Lanig, S. & Zipf, A. 2009, 'Interoperable processing of digital elevation models in grid infrastructures', *Earth Science Informatics*, vol. 2, no. 1, pp. 107-116.
- [5] Lanig, S., Kurzbach, S., Pasche, E. & Zipf, A. 2009, 'Standards-Based Processing of Digital Elevation Models in Grid Computing Environments', in *AGILE 2009 - Pre-conference Workshop 'Grid Technologies for Geospatial Applications'*, Hanover, Germany
- [6] Peltz, C. 2003, *Web services orchestration. A review of emerging technologies, tools, and standards*, Hewlett Packard C.o.
- [7] Lanig, S., Schilling, A., Stollberg, B. & Zipf, A. 2008, 'Towards standards-based processing of digital elevation models for grid computing through web processing service (WPS)', *Computational Science and Its Applications--ICCSA 2008*, pp. 191-203.
- [8] Fleuren, T. & Müller, P. 2008, 'BPEL workflows combining standard OGC web services and grid-enabled OGC web services', in *34th Euromicro Conference on Software Engineering and Advanced Applications*, Parma, Italy.
- [9] Di, L. 2004, 'The Development of Geospatially-enabled GRID Technology for Earth Science Applications', in *Proceedings of NASA Earth Science Technology Conference*, Palo Alto, USA.
- [10] Padberg, A. & Kiehle, C. 2009, 'Towards a Grid-Enabled SDI: Matching the Paradigms of OGC Web Services & Grid Computing', *The International Journal of Spatial Data Infrastructures Research*, no. Special Issue GSDI-1
- [11] Fricker, P., Gervais, F., Roth, R., Llorens, P., Delgado, J. & Cardenal, J. 2002, 'Utilización de sensores aerotransportados para la generación de MDT y ortofotografías: LH ADS40 y LH ALS40', in *XIV Congreso Internacional de Ingeniería Gráfica*, Santander, España, pp. 05-07.
- [12] Fernandez, J. C., Singhanian, A., Caceres, J., Slatton, K. C., Starek, M. & Kumar, R. 2007, 'An overview of lidar point cloud processing software', *GEM Center Report No. Rep-2007-12-001*, University of Florida.
- [13] J R. Arrowsmith, Nancy Glenn, Christopher J. Crosby and Eric Cowgill: *Current capabilities and community needs for software tools and educational resources for use with LiDAR high resolution topography data* [En línea], San Diego Supercomputer Center (08/08/2008) <http://opentopo.sdsc.edu/docs/LIDAR_software_tools_needs_Aug_2008.pdf> [Consulta: 05/08/2010]
- [14] García, J. C. 2009, 'DielmoOpenLidar: control de calidad de datos LIDAR y generación de productos finales', en *III Jornadas de SIG Libre*, Girona, España.
- [15] García J. C. & García, O. 2009, 'Distribución de datos LiDAR en la IDERM', in *VI Jornadas Técnicas de la IDE de España JIDEE2009*, Murcia, España.
- [16] The Open Geospatial Consortium: *About OGC*, [Online], OGC, <<http://www.opengeospatial.org/ogc>> [Consulta: 29/07/2010].
- [17] López, F. J. & Pascual, A. F. 2008, 'Introducción a la Normalización en Información Geográfica: La familia ISO 19100', in *Mapping Interactivo*, pp. 1-217.
- [18] Open Geospatial Consortium: OpenGIS® Web Map Server Implementation Specification 1.3.0, (OGC® 06-042) (J. d. Beaujardiere), OpenGIS® Implementation Specification. Open Geospatial Consortium Inc., 2006.
- [19] Open Geospatial Consortium: Web Feature Service Implementation Specification 1.1.0, (OGC 04-094) (P. A. Vretanos), OpenGIS® Implementation Specification. Open GIS Consortium Inc., 2005.
- [20] Open Geospatial Consortium: Web Coverage Service (WCS) Implementation Standard 1.1.2, (OGC 07-067r5) (A. Whiteside and J. D. Evans), OGC® Implementation Standard. Open Geospatial Consortium Inc., 2008.
- [21] Open Geospatial Consortium: OpenGIS® Catalogue Services Specification 2.0.2, (OGC 07-006r1) (D. Nebert, A. Whiteside and P. A. Vretanos), OpenGIS® Implementation Specification. Open Geospatial Consortium Inc., 2007.
- [22] Open Geospatial Consortium: *OpenGIS® Web Processing Service 1.1.0*. (OGC 05-007r7) (Peter Schut), OpenGIS® Standard. Open Geospatial Consortium Inc., 2007.
- [23] Lasanta, R. & del Bueyo, M. 2010, Diseño y Desarrollo de un cliente Web Processing Service (WPS) para gvSIG, Universitat Oberta de Catalunya.
- [24] Foster, I., Kesselman, C. & Tuecke, S. 2001, 'The anatomy of the grid: Enabling scalable virtual organizations', *International Journal of High Performance Computing Applications*, vol. 15, no. 3, p. 200.
- [25] Foster, I. 2002, 'What is the grid? a three point checklist', *GRID today*, vol. 1, no. 6.
- [26] Home page Globus Toolkit: [Online], <<http://www.globus.org>> [Consulta: 29/07/2010].
- [27] Jaeger-Frank, E., Crosby, C., Memon, A., Nandigam, V., Arrowsmith, J., Conner, J., Altintas, I. & Baru, C. 2006, 'A three tier architecture for LiDAR interpolation and analysis', *Computational Science--ICCS 2006*, pp. 920-927

- [28] Baranski, B. 2008, 'Grid Computing Enabled Web Processing Service', in *GI-Days*, Münster, Germany.
- [29] Dielmo 3D S.L.: *Manual Usuario Dielmo Open LIDAR 0.1*, [En Línea], DIELMO, (15/12/2008) <http://www.dielmo.com/descargas/Manual_DielmoOpenLiDAR_1.0_BN5.pdf> [Consulta: 23/08/2010].
- [30] Dielmo 3D S.L.: *Conoce el proyecto Dielmo Open LiDAR*, [En Línea], DIELMO, <<http://www.dielmo.com/proyecto.php>> [Consulta: 25/08/2010].

6. CONTACTOS

Jayson FERNANDEZ-RIVAS
Jayson_fr@hotmail.com

Willington SIABATO
w.siabato@upm.es

Universidad Politécnica de Madrid
Escuela Técnica Superior de Topografía,
Geodesia y Cartografía

Universidad Politécnica de Madrid
Escuela Técnica Superior de Topografía,
Geodesia y Cartografía

Departamento de Ingeniería Topográfica
y Cartografía

Departamento de Ingeniería Topográfica
y Cartografía