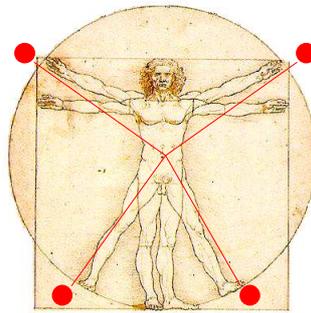


TECNOLOGÍ@ y DESARROLLO

Revista de Ciencia, Tecnología y Medio Ambiente

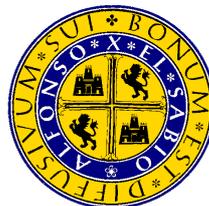
VOLUMEN VI. AÑO 2008

SEPARATA



RECURSOS Y FUENTES DE DATOS PARA LA CREACIÓN DE UN
LABORATORIO DE GEOLOGÍA PLANETARIA

Miguel Ángel de Pablo Hernández



UNIVERSIDAD ALFONSO X EL SABIO
Escuela Politécnica Superior
Villanueva de la Cañada (Madrid)

© Del texto: Miguel Ángel de Pablo Hernández
Julio, 2008.

http://www.uax.es/publicaciones/archivos/TECMAD08_002.pdf

© De la edición: *Revista Tecnol@y desarrollo*
Escuela Politécnica Superior.
Universidad Alfonso X el Sabio.
28691, Villanueva de la Cañada (Madrid).
ISSN: 1696-8085
Editor: Julio Merino García tecnologia@uax.es

No está permitida la reproducción total o parcial de este artículo, ni su almacenamiento o transmisión ya sea electrónico, químico, mecánico, por fotocopia u otros métodos, sin permiso previo por escrito de la revista.

Tecnol@y desarrollo. ISSN 1696-8085. Vol.VI. 2008.

RECURSOS Y FUENTES DE DATOS PARA LA CREACIÓN DE UN LABORATORIO DE GEOLOGÍA PLANETARIA

Miguel Angel de Pablo Hernández

Departamento de Geología. Universidad de Alcalá. 28871 Madrid. España. miguelangel.depablo@uah.es

RESUMEN: La intensa actividad existente en la actualidad en el ámbito de la exploración de otros cuerpos planetarios mediante sondas hace necesario un creciente número de investigadores capaces de procesar y analizar dichos datos. Para ello también es necesario disponer de unos recursos mínimos con los que llevar a cabo dicha investigación, es decir, laboratorios adecuadamente preparados para la investigación en Ciencias Planetarias en general, y de Geología Planetaria en particular. En este trabajo se muestran los recursos mínimos del equipamiento informático (hardware) que serían necesarios para la creación de un laboratorio de este tipo. Por otra parte, se muestra una extensa recopilación de programas informáticos (software) básicos para la obtención, almacenamiento, procesamiento, análisis y explotación del importante y creciente volumen de datos planetarios. Una particularidad fundamental de los programas recopilados es su carácter gratuito, lo que hace posible crear un laboratorio sin costes en software. Por otra parte, para la puesta en marcha de investigaciones en este laboratorio es necesario conocer las fuentes más importantes de datos planetarios, asociadas a las agencias aeroespaciales NASA (National Aeronautic and Space Administration) y ESA (European Space Agency). Estas fuentes, así como las bibliográficas, son recogidas en este trabajo. Finalmente, se muestra un ejemplo de laboratorio creado con los recursos descritos en este trabajo: PlanetLab.

PALABRAS CLAVE: Ciencias Planetarias; Geología Planetaria; Explotación de datos; Software

ABSTRACT: The intense activity that already exists in the field of planetary exploration by spacecrafts and probes needs a growing number of researchers who are able to process and analyse these data. It requires a minimal resources and laboratories adequate for the research on Planetary Sciences and Planetary Geology. In this paper we show the minimum resources of computer equipment (hardware) necessary for the creation of this type of research laboratory. Moreover, we show an extense collection of software for obtain, store, process, and analyse the important and growing volume of planetary data. These software are free of charge, what is a key feature because it makes possible to create a basic laboratory with low costs. Moreover, a laboratory is not useful without data. Here we show different sources for obtain data acquired by the different exploration missions of the NASA and ESA space agencies. Links to on-line Space Sciences bibliography databases are also provided. Finally, an example of laboratory created with the here described resources (PlanetLab) is briefly described.

KEY-WORDS: *Planetary Sciences; Planetary Geology; Data mining; Software.*

SUMARIO: 1. Introducción 2. Recursos informáticos 3. Programas 4. Fuentes de datos 5. Fuentes bibliográficas 6. Un ejemplo: PlanetLab 7. Conclusiones 8. Bibliografía

http://www.uax.es/publicaciones/archivos/TECMAD08_002.pdf

1. Introducción

En la actualidad, la exploración planetaria está viviendo una nueva época dorada en la que se diseñan, construyen y envían sondas a otros cuerpos planetarios a un ritmo frenético. Y el objetivo de muchas de estas misiones es el planeta Marte, aunque otras también han sido enviadas en los últimos años a estudiar Júpiter y sus lunas. Y ya se están planificando, diseñando, y construyendo las sondas que serán enviadas a Marte, Mercurio, Venus, o Júpiter en los próximos años. Cada vez más países participan en la exploración planetaria y nuevas agencias están siendo creadas para tal fin, especialmente desde que algunos países han comunicado su interés por las misiones tripuladas a la Luna o Marte.

Esta intensa actividad técnica para la exploración de otros planetas y lunas de nuestro sistema solar esta facilitando un enorme volumen de datos que deben ser analizados por la comunidad científica con el fin, no sólo de conocer esos cuerpos planetarios, sino de establecer los objetivos científicos de las futuras misiones y localizar las zonas de aterrizaje más adecuadas e interesantes desde el punto de vista científico.

Desde el comienzo de la exploración planetaria mediante sondas en los años 60 del pasado siglo XX, la tecnología ha ido desarrollándose a una gran velocidad permitiendo que los ingenios robóticos enviados para la exploración de otros planetas sean cada vez más sofisticados, con más instrumentos a bordo capaces de recoger más datos, de mayor calidad y resolución. Esto hace que el volumen de datos se haya incrementado exponencialmente, no sólo por el incremento del número de misiones, sino también por el de los sensores a bordo de ellas, y la calidad y volumen de datos que éstos son capaces de adquirir. Como ejemplo de ello basta destacar que durante la misión *Viking* a Marte (operativa entre 1976 y 1980) se adquirieron más de 50.000 imágenes con una resolución de entre 500 y 200 metros por píxel, lo que representa un volumen de unos 40 Gigabytes de información. Sin embargo, en la misión *Mars Express* (que llegó a Marte en el año 2003 y todavía se encuentra operativa), ya se han adquirido más de 1200 imágenes con un único sensor de los muchos que lleva a bordo, que representan más de 6 Terabytes de información, con una resolución de hasta 25 metros por píxel. Este volumen de datos se dispara si se tiene en cuenta que en los últimos años han estado o están adquiriendo datos las sondas *Mars Global Surveyor*, *Mars Odyssey* y *Mars Reconnaissance Orbiter*. Y éste es sólo el caso de Marte. En la actualidad también se están recibiendo datos de sondas enviadas a Júpiter y Venus, y en los próximos años se enviarán otras a Mercurio y Marte. Por otra parte, los datos que se reciben en la

actualidad, no son sólo imágenes, sino también datos espectrométrico, atmosféricos, RADAR,... lo que hace necesario aplicar técnicas especiales para su gestión, tratamiento y análisis. Además, puesto que los sensores son construidos por distintos organismos y empresas, las fuentes de donde obtener dichos datos están relativamente dispersos, aunque existen servidores de datos en los que se centralizan parte de los datos. De esta manera, el enorme volumen de datos existente en la actualidad de otros cuerpos planetarios y la intensa actividad de exploración del Sistema Solar por parte de las diversas agencias espaciales hace necesaria la formación de nuevos científicos de diversas especialidades capaces de analizar los datos y contribuir al avance del conocimiento sobre otros cuerpos planetarios. Las Ciencias Planetarias tienen un carácter multidisciplinar (ej., de Pater and Lissauer, 2001; McBride and Gilmour, 2003), pero una de las ramas más destacadas es la de la Geología, puesto que los estudios geológicos de la superficie de otros planetas son los primeros que se llevan a cabo con las imágenes obtenidas por las sondas, son los que permiten seleccionar áreas de interés para futuras misiones, y los que nos permiten comparar los cuerpos del Sistema Solar más cercanos a la Tierra (Mercurio, Venus, Luna y Marte) con nuestro planeta.

Para llevar a cabo estudios sobre la geología de otros cuerpos planetarios, especialmente los más rocosos, no sólo se hace uso de las fotografías que pudieron tomar las sondas en el pasado, sino que los nuevos sensores están permitiendo emplear nuevas técnicas de teledetección (ej., Chuvieco, 1990; Rees, 2001) como el uso de imágenes infrarrojas, espectrometría, RADAR, etc. que aportan una información muy importante para el conocimiento de los materiales que constituyen la superficie (y el subsuelo y la atmósfera) de otros planetas y lunas. Esto a su vez permite conocer cómo es la geología local, regional y global, así como su posible evolución.

A pesar de lo que se pueda creer, la realización de estudios sobre la geología de otros cuerpos planetarios no requiere de grandes y costosos laboratorios de investigación, sino que con unos pocos recursos informáticos (hardware) y los programas adecuados (software) es posible analizar y extraer una gran cantidad de información relevante sobre otros cuerpos planetarios. La obtención de dichos datos, tampoco es compleja ya que existen unos pocos centros donde se almacenan y distribuyen de manera gratuita. Además existen datos auxiliares que resultan de especial interés para este tipo de investigaciones geológicas como mapas geológicos ya publicados, bases de datos, listados de nomenclatura, etc. Estos datos están disponibles a través de diferentes centros, organismos o grupos de investigación que los facilitan a la comunidad científica.

Dadas las necesidades de analizar el importante y creciente volumen de datos de otros planetas y satélites, y de la formación de nuevos científicos especializados en el estudio de otros cuerpos planetarios, en este trabajo: (1) se muestran los recursos informáticos (hardware), y (2) los programas (software) necesarios para crear un laboratorio de Geología Planetaria; (3) se detallan las fuentes genéricas para la obtención de datos adquiridos por diferentes sondas de exploración planetarias, haciendo especial mención a algunas más específicas para los datos procedentes de misiones enviadas a Marte; (5) se detallan algunas bases de datos bibliográficas especialmente creadas para las Ciencias Planetarias y del Espacio; y (6) se muestra un ejemplo de un laboratorio creado con todos estos recursos, PlanetLab, y en el que actualmente se están realizando tareas de investigación sobre la geología del planeta Marte.

2. Recursos informáticos

Un laboratorio de investigación en el campo de la Geología Planetaria debe estar constituido de manera fundamental por equipos informáticos con los que analizar los datos e imágenes que envían las sondas. Estos datos se encuentran en formato digital, por lo que los equipos informáticos son la única manera de poder trabajar con ellos. Sin embargo no es necesario que estos equipos sean costosos ni excesivamente potentes, ya que los actuales ordenadores existentes en el mercado (aún los de gama media), son suficientes para realizar las operaciones necesarias con los datos planetarios.

Como ejemplo de las escasas necesidades requeridas, basta comentar los recursos informáticos (hardware) disponibles en PlanetLab, un laboratorio de investigación en Geología Planetaria recientemente creado en el Departamento de Geología de la Universidad de Alcalá (Madrid, España). Este laboratorio cuenta con un sencillo equipo informáticos con el que se realizan de manera fluida cualquier tipo de tratamiento básico de los datos de la superficie de Marte. El equipo informático (un ordenador portátil) tiene las siguientes características: procesador Intel Pentium IV[®] a 3,06 GHz, 500 Mb de memoria RAM, 40 Gb de disco duro, unidad de lectura y grabación de DVD, y pantalla de 1024x768 píxeles de resolución (Figura 1).

La mayoría de los programas informáticos empleados para el análisis de datos planetarios funcionan bajo sistema operativo Windows[®], y que son los que se muestran más adelante en este trabajo, aunque muchos tienen versiones para otros sistemas operativos. Sin embargo, algunos programas más especializados lo hacen únicamente

bajo sistemas operativos Linux. Si se planea emplear estos programas, existen diferentes opciones posibles: (1) disponer de otro equipo informático con un sistema operativo Linux instalado, (2) instalar dos sistemas operativos en el mismo equipo informático, y (3) instalar un sistema operativo virtual. La primera opción es la ideal, pero requiere disponer de dos equipos. En cambio, las dos últimas opciones son más económicas porque sólo requieren uno. La diferencia de ellas radica en que la opción segunda puede generar ciertos problemas de compatibilidad de los sistemas operativos y sólo se puede utilizar un sistema operativo cada momento, mientras que con la tercera opción, aunque se puede perder algo de velocidad de procesamiento, es posible trabajar con ambos sistemas operativos a un mismo tiempo, haciendo que el equipo procese datos en el sistema operativo virtual, mientras se realizan otras tareas con el equipo.



Figura 1: Ejemplo de los reducidos recursos (hardware) necesarios para la creación de un sencillo laboratorio para la investigación en Geología Planetaria: un equipo informático con un dispositivo externo de almacenamiento y una tableta de digitalización para las tareas de cartografía.

En el caso de PlanetLab, se ha optado por la tercera configuración, reduciendo los costes en equipos informáticos y los problemas de compatibilidad, y asumiendo una menor velocidad de procesamiento. Para la virtualización de un sistema operativo Linux (se ha seleccionado *OpenSuse 10.2*), se hizo uso del programa *Microsoft Virtual PC 2007*[®] (Tabla 1). Una ventaja de este sistema es que el sistema operativo virtual hace uso de todos los recursos y potencial del equipo en el que se encuentra instalado (Figura 2), y cualquier problema o desconfiguración del sistema no afecta al equipo pudiendo reinstalarse cuantas veces sea necesario. Por otra parte, el sistema operativo virtual puede configurarse para conectarse a Internet para la descarga de datos o la actualización del software, e incluso para compartir archivos con el equipo en el que se ejecuta.

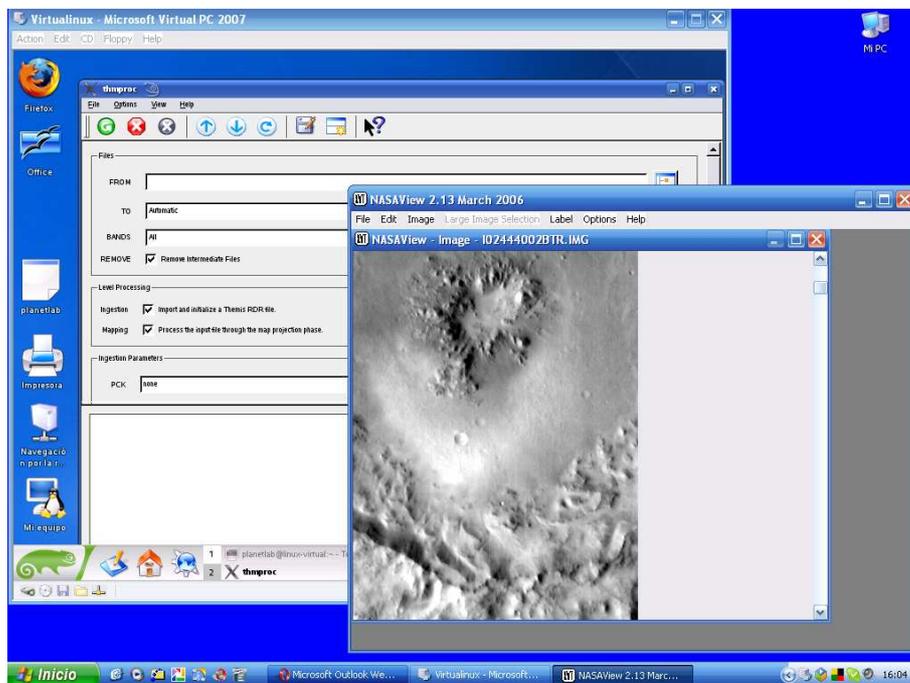


Figura 2: Ejemplo de sistema operativo virtual *Linux (OpenSuse 10.2)*, ejecutando el programa *ISIS 3*, en un entorno *Windows (Windows XP)* en el que al mismo tiempo se pueden ejecutar otros programas, por ejemplo para la visualización de datos planetarios. Esto es posible mediante el programa *Microsoft Virtual PC 2007*.

Dado en gran volumen de datos que es posible emplear en Geología Planetaria, se recomienda disponer de una importante capacidad de almacenaje, en forma de disco duro en el propio equipo informáticos, como discos duros externos o en soporte CD y DVD. En PlanetLab se ha optado por disponer de un par de discos duros, uno de ellos de 1 Tb para el almacenaje de datos y documentos y para la realización de copias de seguridad, y otro de 80 Gb, en el que se encuentra instalado el sistema operativo virtual Linux anteriormente mencionado, para el almacenaje de datos y documentos en los que se trabaja de manera continua, permitiendo así el trabajar en otros equipos no pertenecientes a PlanetLab.

En Geología Planetaria se realizan numerosos trabajos de cartografía, así como figuras y gráficos explicativos de los procesos geológicos observados en las imágenes. Por ello, un laboratorio de investigación debería contar con recursos que permitan la digitalización, como son tabletas o pantallas de digitalización. En PlanetLab se ha optado por una pequeña tableta digitalizadora tipo *Wacom Pen Tablet Volito*[®] de tamaño A5, suficiente para los trabajos que se llevan a cabo en el laboratorio.

Tan sólo estos recursos (hardware) son necesarios para poder realizar investigación en el campo de la Geología Planetaria. Cualquier recurso adicional le añade potencial y capacidad a un posible laboratorio, pero las tareas que se pueden realizar son las mismas. Por otra parte, queda claro que los equipos necesarios son los comunes existentes en el mercado y no tienen unas características especiales.

3. Programas

La investigación en el campo de las Ciencias Planetarias requiere del empleo de distintos programas informáticos en función de los objetivos y temática de la investigación. Los programas informáticos para el estudio de la dinámica atmosférica de los grandes planetas gaseosos como Júpiter o Saturno, pueden ser iguales a los necesarios para la realización de una cartografía geomorfológica de la superficie de Io. Aquí se muestran los que pueden ser de utilidad en el campo específico de la Geología Planetaria, y que pueden servir para estudiar cualquier planeta o satélite desde este punto de vista. También se muestran otros programas genéricos necesarios para la redacción de documentos, grabación de CDs, etc. El objetivo es mostrar todos los programas (específicos y genéricos) que haría falta instalar en un equipo informático que únicamente contara con el sistema operativo preinstalado, para que este se pudiera

transformar en un laboratorio de Geología Planetaria (Tabla 1) en el que poder realizar el trabajo diario con documentos, la visualización de datos, el tratamiento de datos e imágenes, la gestión de referencias bibliográficas, la creación de un servidor Web, la creación y explotación de un SIG, o el mantenimiento de la seguridad del equipo y la información que contiene. Esta selección de programas ha sido realizada en base a un criterio fundamental: todos son gratuitos, de libre distribución o de código abierto. Otros criterios tenidos en cuenta en la selección de los programas han sido su facilidad de manejo, la posibilidad de actualizaciones de mejora, y la existencia de versiones en español. Todos los programas seleccionados (así como otros muchos) han sido puestos a prueba en PlanetLab, que en la actualidad cuenta con todos ellos instalados o disponibles para su uso futuro.

En primer lugar es necesario contar con una serie de programas de uso común y básicos en cualquier equipo informático, incluidos procesadores de texto, hojas de cálculo, bases de datos, o presentaciones (*OpenOffice 2.3*), maquetación de documentos (*Scribus 1.3*), generación de documentos en formato PDF (*PDF creator 0.93*), lector de archivos PDF (*Foxit Reader 2.0*), grabador de CD/DVD (*Infrarecorder 0.43*), y compresión/descompresión de ficheros (*7-zip 4.42*). Otros programas genéricos que resultan de gran interés son los necesarios para la gestión de referencias bibliográficas (*Blibioscape 7.1*) y diccionarios de referencia (*TheSage 1.4*). Una herramienta no específica que resulta de gran interés es aquella que permite la creación de escritorios múltiples (*Dextop 1.4* y *Microsoft Deskman*[®]), lo que permite tener diferentes escritorios y programas abiertos a un mismo tiempo y a la vista, por ejemplo cuando se analizan imágenes con un programa y realizando cartografía con otro. Esta herramienta es de especial interés sobre todo cuando se trabajan con múltiples pantallas.

Otros programas comunes son los necesarios para la realización de distintos tipos de gráficos. Estos programas básicos son: *Paint.Net 3.10* que permite la creación y tratamiento de imágenes de tipo “raster”; *GIMP 2.4*, para la creación y tratamiento de imágenes “raster” y vectorial (puntos, líneas y polígonos); *Inkscape 0.45*, para el tratamiento de imágenes vector, empleado, por ejemplo, para la realización de cartografía. Para la crear de gráficas y diagramas se recomienda el uso de los programas *Mjo-Graph 2.4*, *Graph 4.3* y *Stereo32 0.9*. En ocasiones hace falta crear gráficos tridimensionales complejos del relieve o la superficie de un planeta, lo que puede hacerse a partir de modelos digitales de terreno con el programa *Terragen 0.9*. Para la visualización, catalogación y tratamiento sencillo de imágenes se cuenta con los programas *IrfanView 4.0* y *Picasa 2*. El primero de ellos es capaz de abrir una gran variedad de formatos de imágenes, entre otras muchas herramientas, mientras que el

segundo permite clasificar las imágenes almacenadas en el equipo (o en discos duros externos), así como añadir comentarios y descripciones, o realizar sencillos y prácticos retoques.

La descarga de datos de las numerosas misiones de exploración espacial (incluyendo los de exploración de otros planetas y satélites) llevadas a cabo por las agencias NASA y ESA, se pueden consultar y descargar de manera manual a través de muchos de sus servidores (ver fuentes de datos más adelante en este trabajo), o de manera automática mediante el sencillo programa *Wget 1.10*. Los datos descargados (y todos los documentos, gráficos y mapas generados) pueden ser almacenados en discos duros, DVD o CD, y catalogados mediante el programa *MyLib 0.93*.

Para la visualización de datos científicos se puede realizar con el programa *Geospatial Explorer 2.9*. En cambio, para la visualización de datos obtenidos por las distintas sondas espaciales (principalmente imágenes) es necesario emplear los programas creados por la propia agencia NASA, como son *NASAView 2.14* (Figura 2), *PDSWin 2.0* o *ImDisp 7.9*. Para la visualización y realización de tratamientos sencillos de datos topográficos se puede emplear el programa *3DEM 20.2*, y para la visualización de algunos tipos de imágenes Landsat de la Tierra se recomienda el uso del programa *MrSID Geoviewer 2.1*. Para la visualización de imágenes de satélite de la Tierra también se dispone del programa *Google Earth 4.2*, que requiere conexión a Internet para la visualización de los datos. Un programa similar de visualización de datos de la Tierra es *World Wind 1.4* desarrollado por NASA que permite visualizar imágenes de satélite y datos topográficos de la Tierra (y Marte, la Luna, Venus e Io), y que a diferencia del anterior, permite almacenar los datos en el propio equipo para visualizarlos en otras ocasiones sin necesidad de conexión. El inconveniente de este programa es la limitada resolución de los datos disponibles. Finalmente, para la visualización de datos multivariable en formato netCDF (como por ejemplo los de la base de datos climáticos de Marte: Lewis et al., 1999) se cuenta con los programas *ncBrowse 1.6* y *Panoply 2.3* (Figura 3). Estos programas han sido desarrollados por la agencia NASA para tal fin, y aunque no permiten realizar un tratamiento de dichos datos, son de gran utilidad para su visualización, dada la complejidad de este formato de ficheros.

12. Miguel Ángel de Pablo Hernández

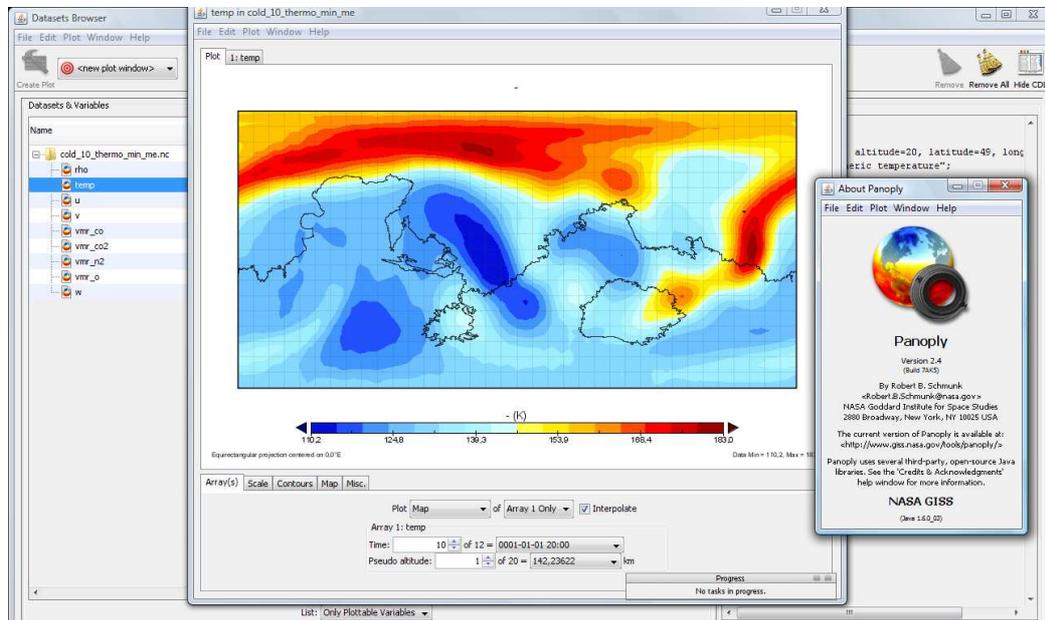


Figura 3: *Panoply*, desarrollado por NASA, es un ejemplo de los programas necesarios para abrir archivos en formato netCDF, como pueden ser los datos climáticos de Marte.

Para el procesamiento de datos planetarios se hace imprescindible el uso de los programas *ISIS 3* y *mini-Vicar*, que se ejecutan bajo entorno Linux. Estos programas únicamente pueden descargarse a través del Servicio Geológico de los Estados Unidos (USGS) y la Agencia Europea del Espacio (ESA), respectivamente. Para ejecutar estos programas es necesario disponer de un equipo con el sistema operativo Linux instalado en un equipo (ya sea de manera independiente, compartido con otro sistema operativo en un mismo equipo, o de manera virtual, como se ha optado en PlanetLab). Para el tratamiento sencillo de datos también es posible emplear el programa *ENVI freelooks*. Para el tratamiento de datos topográficos en bruto de Marte existe el sencillo programa *Pedr2Tab*. Por otra parte, para visualizar, tratar y analizar datos de espectrometría es recomendable el uso del programa *Davinci 1.69*, y para el tratamiento y análisis sencillo de imágenes planetarias, el programa *ImageJ 1.38* (Figura 4). Este último programa dispone de numerosas herramientas que se pueden instalar de manera independiente, algunas de las cuales pueden resultar de gran interés en geología planetaria, ya que permiten abrir imágenes planetarias, realizar mediciones de distancias y áreas, etc. Finalmente, en algunos casos es necesario realizar un tratamiento matemático de los datos, y los programas más adecuados para ello son: *Scilab 1.4* y

Force 2.0. El primero de ellos es un programa de análisis matemáticos, mientras que el segundo es un compilador de lenguaje Fortran, muy empleado por la comunidad científica en la programación de algoritmos.

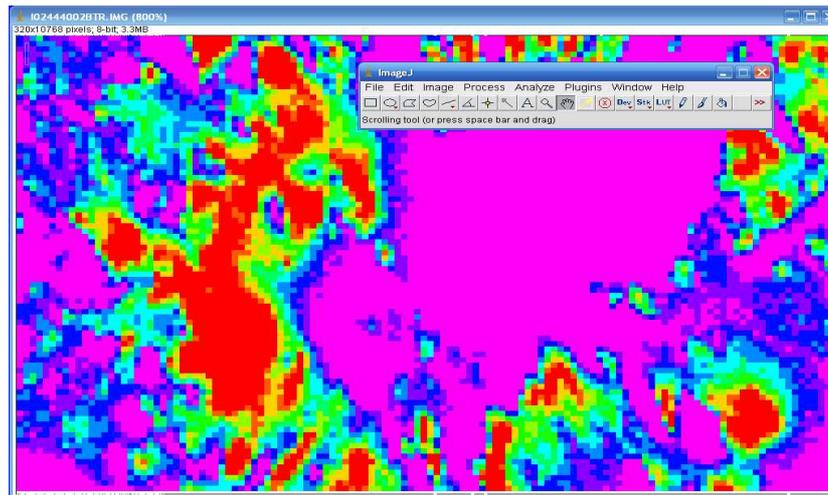


Figura 4: Mapa de temperatura superficial diurna de una región de Marte elaborado con el programa de visualización y tratamiento de imágenes *ImageJ*.

La gran variedad de datos disponibles (especialmente de algunos cuerpos como Marte) hace necesario el uso de una Sistema de Información Geográfica (SIG) para la integración, gestión, análisis y explotación de datos georreferenciados. El uso de SIG en el campo de las Ciencias Planetarias se está extendiendo en los últimos años debido a sus numerosas ventajas (ej., Hare and Tanaka, 2000; Hare et al., 2005; Dobinson et al., 2006; Hare et al., 2007). Existen programas adecuados para el tratamiento y análisis de datos dentro de un entorno SIG. Los programas comerciales son muy completos pero extremadamente caros, por lo que el uso de herramientas SIG gratuitas es de gran interés, tanto para la creación, la visualización y el tratamiento de datos. No existe un único programa capaz de competir por el momento con los comerciales, pero varios de ellos suplen muchas de sus funcionalidades. Algunos de estos programas SIG son: *QGIS 0.9* (Figura 5), *TAS 2.09*, *SAGA 1.2*, *Tatuk-GISviewer 1.9* y *Grass 5.4*. Algo similar ocurre con los programas de teledetección, pero es posible emplear varios programas que suplen parcialmente a los comerciales. Algunos de estos programas son: *Multispec 5.12*, *Chips 4.7* y *Spring 4.3*. Para tratar imágenes de satélite y fotografías aéreas con el fin de realizar estudios fotogramétricos está disponible el programa *e-Foto 0.0.8*.

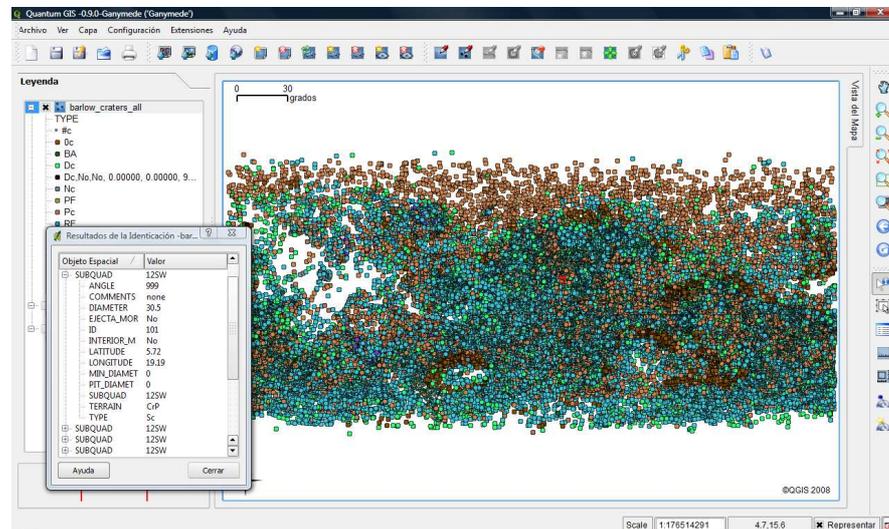


Figura 5: Ejemplo de un Sistema de Información Geográfica (SIG) aplicado al estudio de los cráteres de impacto de Marte mediante el programa *QGIS*. Los SIG permiten gestionar y explotar la información georreferenciada de los diferentes cuerpos planetarios de una manera rápida y sencilla.

Para el estudio de superficies planetarias se han creado una serie de programas específicos con diferentes objetivos. *Craterstats* ha sido desarrollado para la realización de dataciones relativas y absolutas de superficies planetarias a partir del conteo de cráteres (ej., Hartmann, 2005, 2007); *HRSCViewer* permite la visualización y tratamiento sencillo de imágenes obtenidas por el sensor HRSC de la superficie de Marte; y *Gridview*, programa orientado al análisis de datos topográficos de Marte. Todos estos programas requieren tener instalado en el equipo el programa *IDL® Virtual Machine 6.3*. Por otra parte, la extensión *SFS 1.2* para el programa de diseño gráfico *GIMP*, permite la realización de un tipo de análisis fotoclinométricos (el denominado *shape from shading*) de las imágenes tomadas por algunas sondas planetarias. Además de estos programas, existen herramientas que funcionan a través de Internet, y han sido desarrolladas para la visualización o el tratamiento de datos a través de servidores web. Estos programas son: *PIGWAD* para el uso de un SIG aplicado a distintos cuerpos planetarios, incluido Marte (Figura 6); *JMars* programa para la visualización de imágenes de alta resolución en un entorno SIG; y *THMProc* para el procesado de un tipo determinado de imágenes infrarrojas de Marte (THEMIS).

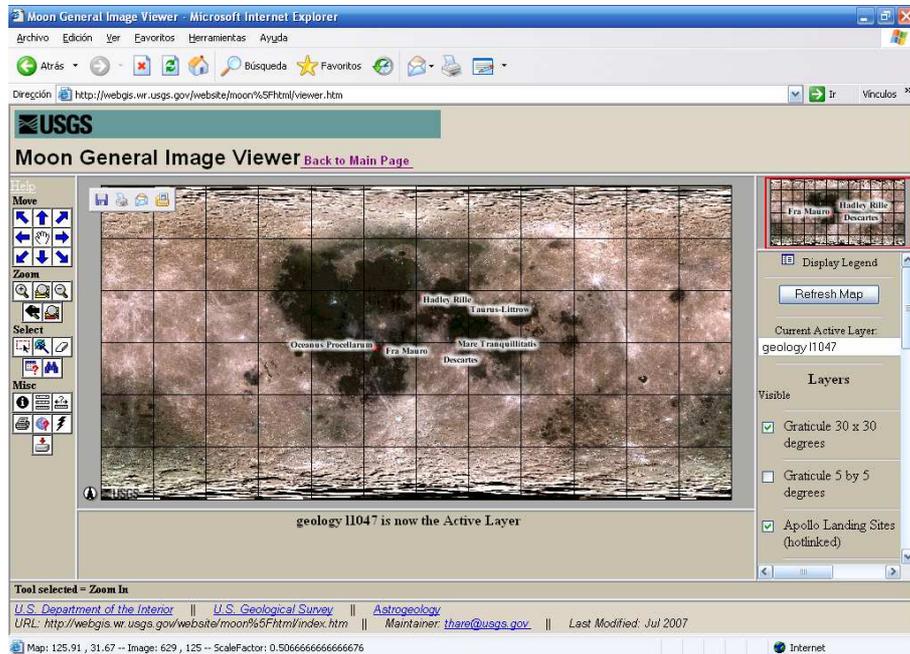


Figura 6: Sistema de Información Geográfica (SIG) de la Luna disponible a través del PIGWAD, como ejemplo de herramienta SIG disponible a través de Internet para diferentes cuerpos del Sistema Solar.

Aunque se requieren conocimientos más avanzados, un laboratorio de Geología Planetaria puede requerir de un servidor de datos y mapas para los diferentes usuarios del laboratorio o para otros usuarios externos a través de la Web. Así, para crear un servidor de datos y mapas son necesarios una serie de programas como: *XAMPP 1.6* para la creación de un servidor Web; *OpenSSH 3.8*, para la creación de un servidor de seguridad SSH; y *MapBuilder 1.0* para la distribución Web de mapas. Otros programas de gran interés son *WinSCP 4.04* para la descarga y envío de datos con estos servidores; *Kompozer 0.7* para la creación de páginas Web y *Opera 9.5* su visualización. Mediante el programa *Hamachi 1.0* posible crear una red privada virtual que permita la comunicación e intercambio de datos entre los equipos de usuarios del laboratorio. Finalmente, los programas *Wake-on-LAN* y *LogMeIn* permiten la conexión remota con un determinado equipo a cualquier usuario del laboratorio desde cualquier lugar del mundo con conexión a Internet, aunque el equipo se encuentre inicialmente apagado.

16. Miguel Ángel de Pablo Hernández

	Programa informático	Enlace Web
Escritorio	<i>Open Office 2.3</i>	http://www.openoffice.org/
	<i>Scribus 1.3</i>	http://www.scribus.net/
	<i>PDF Creator 0.93</i>	http://www.pdfforge.org/products/pdfcreator
	<i>Foxit Reader 2.0</i>	http://www.foxitsoftware.com/pdf/rd_intro.php
	<i>Infrarecorder 0.43</i>	http://infrarecorder.sourceforge.net/
	<i>7-Zip 4.42</i>	http://www.7-zip.org/
	<i>TheSage 1.4</i>	http://www.sequencepublishing.com/thesage.html
	<i>Dextop 1.4</i>	http://www.dexpot.de/index.php?lang=en
	<i>Microsoft Deskman</i>	http://www.microsoft.com/windowsxp/downloads/powertoys
Gráficos	<i>Paint.Net 3.10</i>	http://www.getpaint.net/
	<i>GIMP 2.4</i>	http://www.gimp.org/
	<i>Inkscape 0.45</i>	http://www.inkscape.org/
	<i>Mjo-Graph 2.6</i>	http://www.ochiailab.dnj.ynu.ac.jp/mjograph
	<i>Graph 4.3</i>	http://www.padowan.dk/graph/
	<i>Stereo 32 0.9</i>	http://www.ruhr-uni-bochum.de/hardrock/downloads.htm
	<i>Terragen 0.9</i>	http://www.planetside.co.uk/terragen/
	<i>IrfanView 4.0</i>	http://www.irfanview.com
	<i>Picasa 2</i>	http://picasa.google.com/
Gestión de datos	<i>Wget 1.10</i>	http://users.ugent.be/%7Ebpuype/wget/
	<i>MyLib 0.93</i>	http://linesoft.org/en/projects/mylib
	<i>Biblioscape 7.1</i>	http://www.biblioscape.com/biblioexpress.htm
Visualización de datos	<i>Geospatial Explorer 2.9</i>	http://www.cyze.com/
	<i>NASAVIEW 2.14</i>	http://pds.nasa.gov/tools/software_download.cfm
	<i>PDSWin 2.0</i>	ftp://nssdcftp.gsfc.nasa.gov/miscellaneous/cdrom/software/dos/
	<i>ImDisp 7.9</i>	ftp://nssdcftp.gsfc.nasa.gov/miscellaneous/cdrom/software/dos/
	<i>3DEM 20.2</i>	http://www.visualizationsoftware.com/3dem.html
	<i>MrSID Geoviewer 2.1</i>	http://www.lizardtech.com/
	<i>Google Earth 4.2</i>	http://earth.google.com/
	<i>World Wind 1.4</i>	http://worldwind.arc.nasa.gov/
	<i>ncBrowse 1.6</i>	http://www.epic.noaa.gov/java/ncBrowse/
	<i>Panoply 2.3</i>	http://www.giss.nasa.gov/tools/panoply/
Procesado de datos	<i>ISIS 3</i>	http://isis.astrogeology.usgs.gov/
	<i>Mini-Vicar</i>	http://www.rssd.esa.int/?project=TOP&page=1st_mexdw_07
	<i>ENVI Freelook</i>	http://www.itvis.com/download/download.asp
	<i>Pedr2Tab</i>	http://pds-geosciences.wustl.edu/missions/mgs/molasoftware.html

	<i>Davinci 1.69</i>	http://davinci.asu.edu/index.php/Main_Page
	<i>ImageJ 1.38</i>	http://rsb.info.nih.gov/ij/
	<i>Scilab 1.4</i>	http://www.scilab.org/
	<i>Force 2.0</i>	http://force.lepsch.com/
Sistema de Información Geográfica	<i>QGis 0.9</i>	http://www.qgis.org/
	<i>TAS 2.09</i>	http://www.sed.manchester.ac.uk/geography/research/tas/
	<i>SAGA 1.2</i>	http://www.saga-gis.uni-goettingen.de/html/index.php
	<i>TatukGIS Viewer 1.9</i>	http://www.tatukgis.com/products/viewer/viewer.aspx
	<i>Grass 5.4</i>	http://grass.itc.it/
	<i>Ilwis 3.0</i>	http://www.itc.nl/ilwis/
Teledetección	<i>Multispec 5.12</i>	http://www.ece.purdue.edu/%7Ebiehl/MultiSpec/
	<i>Chips 4.7</i>	http://www.geogr.ku.dk/chips/index.htm
	<i>Spring 4.3</i>	http://www.dpi.inpe.br/spring/english/index.html
Específicos	<i>Craterstats</i>	http://hrscview.fu-berlin.de/software.html
	<i>HRSCViewer</i>	http://hrscview.fu-berlin.de/software.html
	<i>GriedView</i>	http://denali.gsfc.nasa.gov/gridview/index.html
	<i>SFS para GIMP</i>	http://www.geocities.com/alreaud/gimp_plug-in/shapefs.html
Específicos on-line	<i>PIGWAD</i>	http://webgis.wr.usgs.gov/
	<i>JMars</i>	http://jmars.asu.edu/
	<i>THMProc</i>	http://thmproc.mars.asu.edu/
	<i>Marsoweb</i>	http://marsoweb.nas.nasa.gov/
Web	<i>XAMPP 1.6</i>	http://www.apachefriends.org/en/xampp.html
	<i>Open SSH 3.8</i>	http://sshwindows.sourceforge.net/
	<i>MapBuilder 1.0</i>	http://communitymapbuilder.org/
	<i>WinSCP 4.04</i>	http://winscp.net/
	<i>Kompozer 0.7</i>	http://www.kompozer.net/
	<i>Opera 9.5</i>	http://www.opera.com/
	<i>Hamachi 1.0</i>	https://secure.logmein.com/products/hamachi/vpn.asp
	<i>Wake-on-LAN 1.0</i>	http://www.simply-ware.com/downloads.htm
	<i>LogMeIn</i>	https://secure.logmein.com/products/free/
Seguridad	<i>Cobian Backup 8</i>	http://www.educ.umu.se/%7Ecobian/cobianbackup.htm
	<i>AVG 7.5</i>	http://free.grisoft.com/
	<i>CCleaner 2</i>	http://www.ccleaner.com/
	<i>Ad-Aware 7.0</i>	http://www.lavasoft.com/
	<i>Spybot 1.5</i>	http://www.safer-networking.org/
Otros	<i>.Net Framework</i>	http://www.microsoft.com/downloads
	<i>Java RE</i>	http://www.java.com/en/download/manual.jsp
	<i>IDL V.M. 6.3</i>	http://www.itvis.com/idlvm/

	<i>Microsoft Virtual PC</i>	http://www.microsoft.com/windows/products/winfamily/virtualpc
	<i>OpenSuse 10.2</i>	http://www.opensuse.org/

Tabla 1: Listado de la selección de programas informáticos (software) gratuitos y de código abierto que pueden ser empleados para la creación de un laboratorio de investigación en el campo de la Geología Planetaria, y su mantenimiento.

Mantener en perfectas condiciones de seguridad un equipo informático que sirve como laboratorio, conectado a Internet y posiblemente con diferentes usuarios, hace necesario tener en cuenta las condiciones de seguridad. Para ello, lo primero es disponer de un programa para la realización de copias de seguridad de datos y documentos, El programa *Cobian Backup 8* permite realizar dichas copias de seguridad de manera automática. Por otra parte es necesario mantener la integridad de los datos e información y evitar la presencia de virus en el sistema, algo que se puede conseguir con los programas *Ccleaner 2*, *Ad-Aware 7.0*, *Spybot 1.5* y *AVG 7.5*.

El uso de todos estos programas informáticos requiere de las necesarias actualizaciones de seguridad del sistema operativo, y en algunos casos de disponer de los entornos *.Net Framework* y *Java Runtime Environment* instalados y debidamente actualizados.

La selección de todos los programas aquí nombrados se ha realizado tras numerosas pruebas con las distintas opciones disponibles y se han escogido aquellas que mejor se han adaptado a las necesidades de un laboratorio para la investigación en Geología Planetaria como es PlanetLab.

4. Fuentes de datos

Los datos necesarios para la realización de investigación sobre la geología de otros planetas y satélites de nuestro sistema solar han sido obtenidos por diferentes sondas planetarias de las agencias NASA y ESA, desde el año 1966 cuando comenzó la carrera espacial. Todos los datos tomados por esas sondas planetarias están disponibles en los servidores de esas agencias de manera gratuita, aunque existe la posibilidad de adquirirlos en soporte CD y DVD. En el caso de las misiones más recientes y en activo, los datos y productos derivados pueden ser obtenidos desde los servidores de los equipos responsables del desarrollo de los sensores. Estas fuentes externas a las agencias espaciales responsables de las misiones son de especial importancia en el caso de Marte

debido a la gran variedad de sensores instalados a bordo de las misiones recientes. A continuación se describen las distintas fuentes de datos de otros cuerpos planetarios (Tabla 2), prestando especial atención a los más empleados procedentes de Marte, algunos de los cuales ya fueron recopilados por De Pablo (2004a).

La principal fuente de datos de misiones planetarias es el *Planetary Data System* (PDS) del *Jet Propulsion Laboratory* (JPL), dependiente de la *Office of Space Science* (OSS) de la agencia aeroespacial NASA. A través del PDS es posible acceder a los datos científicos de todas las misiones de exploración planetaria de la agencia NASA, clasificadas por cuerpo planetario o misión. Cuando los datos consisten en imágenes, este servidor permite su visualización previa. Este mismo sistema permite la obtención de software específico para la visualización (ej., *NASAView*) y tratamiento de algunos de éstos datos, cómo se ha visto anteriormente. PDS también facilita la herramienta informática *Bulkdownloader*, que permite una cierta automatización de las descargas de datos desde sus servidores, aunque se recomienda el uso del programa *Wget*, anteriormente citado.

Otra fuente genérica de datos planetarios es el *PDS Geosciences Node* (PDS-GN) de la *Washington University in St. Louis*, en cuyos servidores se encuentran almacenados muchos datos del PDS y otros productos derivados, que pueden descargarse de manera rápida a través de sencillos buscadores de datos. Todos estos datos también están disponibles a través del *National Space Science Data Center* (NSSDC) dependiente de la agencia NASA, en cuyas páginas es posible encargar la compra de los datos en soporte CD y DVD. Un gran volumen de datos pueden ser consultados a través de las diferentes sedes del *Regional Planetary Image Facility* (RPIF), dependientes de la agencia NASA y del *Lunar and Planetary Institute* (LPI), aunque actualmente no existe ninguna de éstas sedes en España.

Una importante fuente de datos y ficheros especialmente preparados para su introducción en un SIG ha sido el *Planetary GIS Web Server* (PIGWAD), dependiente del *Astrogeology Research Program* del USGS. De sus servidores se pueden obtener las coberturas de datos e imágenes de distintos sensores, que son de gran utilidad en un SIG para la localización geográfica de las imágenes disponibles, así como para el acceso directo para su visualización y descarga de los servidores del PDS y del USGS donde se almacenan. Este mismo centro dispone en una extensa información adicional lista para descargar en formato digital o comprar en soporte papel. Algunos de estos datos son: bases de datos de cráteres de impacto, mapas geológicos y fotográficos o bases de datos

de nomenclatura, además de diferentes herramientas y utilidades SIG. Una herramienta para la descarga de datos (principalmente imágenes) adecuadamente ensamblados para formar mapas es la denominada *Map-a-Planet*. Esta herramienta está disponible para diversos planetas y satélites del Sistema Solar.

Por otra parte, los datos adquiridos por las sondas de exploración enviadas por la Agencia Europea del Espacio (ESA), y en particular los de las misiones *Mars Express* y *Venus Express*, pueden encontrarse en el *Planetary Science Archive* (PSA). En el caso de los datos procedentes del sensor HRSC de la sonda *Mars Express*, estos pueden encontrarse en el servidor del *German Aerospace Center* (DLR) y la *Free University of Berlin* (FUB) donde se pueden visualizar y descargar datos a través de su visualizador *HRSCView*.

En el caso de las demás misiones a Marte, existen otros servidores de datos para los sensores específicos. Así, las imágenes, mosaicos y atlas de imágenes adquiridos por el sensor *Mars Orbiter Camera* a bordo de la sonda *Mars Global Surveyor* se pueden obtener a través del *Malin Space Science System* (MSSS), empresa en cargada de su construcción. Esta misma empresa facilita los datos obtenidos por el sensor *Context Imager* (CTX) instalado a bordo de la sonda *Mars Reconnaissance Orbiter* (MRO). Esta última sonda también está obteniendo datos a través del sensor *High Resolution Imaging Science Experiment* (HiRISE). Los datos y productos derivados del sensor *Thermal Emission Imaging System* (THEMIS) a bordo de la sonda *Mars Odyssey* (MO) pueden descargarse de los servidores de la *Arizona State University* (ASU), responsables también del sensor *Thermal Emission Spectrometer* (TES).

Existen otros muchos sensores que han aportado datos de la superficie de Marte y otros cuerpos del Sistema Solar, que pueden ser descargados de los servidores de NASA y ESA, pero estos son los más empleados de manera general. Para conocer los sensores instalados a bordo de cada misión y los datos resultantes, puede consultarse la página de la agencia NASA (principal responsable de la inmensa mayoría de las misiones enviadas a la exploración planetaria hasta la actualidad), en donde se describe cada misión, sus sensores, y las fuentes específicas de los datos adquiridos por ellos.

	Centro / Agencia - Organismo	Enlace Web
Datos	Planetary Data System / NASA	http://pds.jpl.nasa.gov/
	National Space Science Data Center / NASA	http://nssdc.gsfc.nasa.gov/
	Planetary Science Archive / ESA	http://www.rssd.esa.int/index.php?project=PSA
	PDS Geosciences Node / Washington University	http://wwwpds.wustl.edu/
	Regional Planetary Image Facility / LPI	http://lpi.usra.edu/library/RPIF/
	Astrogeology Research Program / USGS	http://astrogeology.usgs.gov/
	PIGWAD / USGS	http://webgis.wr.usgs.gov
	Gazetter of Planetary Nomenclature / USGS	http://planetarynames/wr.usgs.gov/
	Map-a-Planet	http://mapaplanet.org/
	Malin Space Science System	http://www.msss.com/
	THEMIS Team / Arizona State University	http://themis.asu.edu/
	HRSC Team / Free University of Berlin	http://hrscview.fu-berlin.de/
	HiRISE / Lunar and Planetary Laboratory	http://hirise.lpl.arizona.edu/
	Mars Climate Database / CNES	http://www-mars.lmd.jussieu.fr/
TES / Arizona State University	http://tes.asu.edu/	
Misiones	NASA Exploration Program / NASA	http://www.nasa.gov/missions/
Bibliografía	NASA-ADS / NASA	http://adsabs.harvard.edu/
	LPI	http://www.lpi.usra.edu/publications

Tabla 2: Listado de servidores Web de donde obtener datos de la superficie de otros cuerpos planetarios, especialmente de Marte, así como sobre las diferentes misiones de exploración del Sistema Solar, y de bibliografía relacionada con las Ciencias Planetarias y del Espacio.

5. Fuentes bibliográficas

La bibliografía necesaria para llevar a cabo trabajos de investigación en el campo de las Ciencias Planetarias son muy variados, ya que existen decenas de revistas especializadas en función de las diversas ramas: Geología, Física, Química, Biología, ... Esto hace que en ocasiones la búsqueda bibliográfica especializada sea algo compleja. Existen múltiples servidores y buscadores de referencias bibliográficas científicas que son muy útiles en estos casos. Sin embargo, además de éstas, existe una especialmente dedicada a las Ciencias del Espacio, *The NASA Astrophysics Data System* (NASA-ADS), creado conjuntamente por el *Jet Propulsion Laboratory* (JPL) y *Harvard University*. Esta base de datos permite localizar referencias bibliográficas relacionadas con las ciencias del

espacio mediante palabras clave, años, autores o áreas temáticas. NASA-ADS permite exportar listados de bibliografía en diferentes formatos para ser introducidos en bases de datos bibliográficas, que pueden ser creadas, integradas y gestionadas con el programa *Biblioscape* (Figura 4), previamente mencionado en este trabajo. Una fuente de información bibliográfica importante es la procedente de los diversos congresos internacionales sobre diferentes aspectos de la Geología Planetaria. En el *Lunar and Planetary Institute* (LPI) se organizan numerosos de estos congresos, cuyas publicaciones pueden consultarse desde la Web de ese centro (Tabla 2). Este mismo centro cuenta con una pequeña colección de libros en formato digital relacionados con la exploración e investigación en el campo de las Ciencias Planetarias, así como material de divulgación y didáctico.

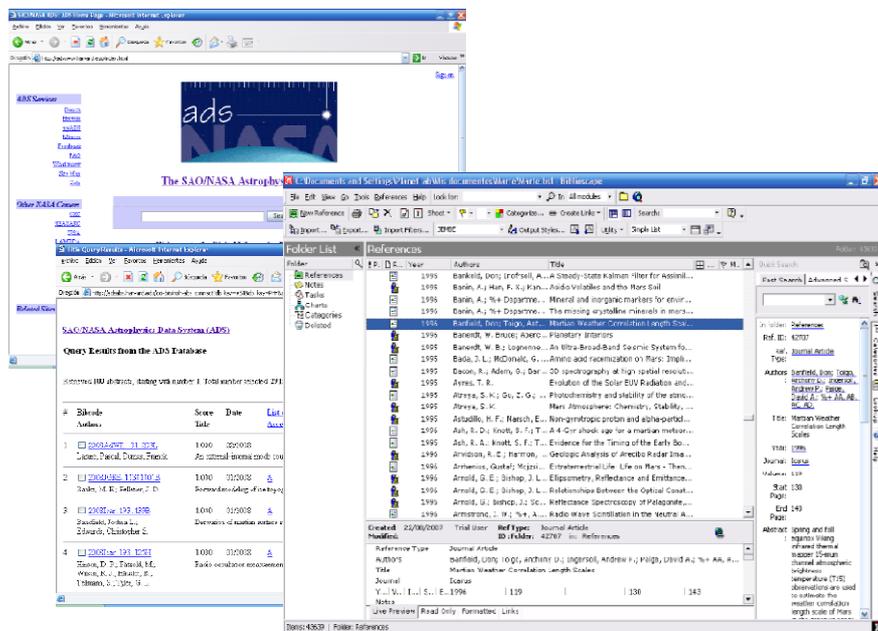


Figura 7: Ejemplo de la página Web de consulta bibliográfica NASA/ADS, especializada en publicaciones sobre Ciencias del Espacio y Ciencias Planetarias. Los resultados de las consultas a esta base de datos puede ser introducidas en programas de gestión de referencias bibliográficas, como *Biblioscape* 7.

6. Un ejemplo: PlanetLab

Un ejemplo de laboratorio de investigación en Geología Planetaria creada con los recursos (hardware y software) es PlanetLab (Figura 1), algunas de cuyas características han sido descritas a lo largo de este trabajo.

Este laboratorio está especialmente diseñado para la investigación de la geología de Marte, con un mínimo de financiación para la adquisición del equipo informático y periféricos (tableta digitalizadora y disco duro externo). Los programas instalados en el equipo han sido los mencionados en este trabajo, todos ellos de carácter gratuito, de libre distribución o de código abierto. Estos programas permiten un análisis completo de los datos planetarios que se suelen emplear en este tipo de investigaciones (ej., de Pablo, 2004b; de Pablo, 2006; de Pablo and Pacifici, 2006; de Pablo and Komatsu, 2007; de Pablo et al., 2008). Este laboratorio está sirviendo también para la investigación geológica y geofísica de las zonas de aterrizaje de la sonda *Mars Science Laboratory*, que será enviada a Marte a finales del año 2009, por parte del equipo científico del sensor REMS a bordo de dicha misión. Esto refleja la potencialidad de este sencillo laboratorio, sin la necesidad de grandes desembolsos económicos. Así, PlanetLab puede ser un interesante ejemplo para la creación de laboratorios similares en otros centros de investigación, e incluso de enseñanza (secundaria y universitaria), ya que son necesarios nuevos científicos capaces de estudiar los datos planetarios, tanto de las actuales como de las futuras misiones.

Planetlab dispone de una extensa colección de datos planetarios, principalmente imágenes, obtenidos de los distintos servidores indicados anteriormente, y que están almacenados como recursos digitales, alcanzando un volumen en la actualidad de más de 600 GB, almacenados en formato CD y DVD. Además cuenta con una colección de publicaciones en formato digital, que comprenden artículos científicos, comunicaciones a congresos y libros especializados (más de 5GB), algunos también disponibles en formato papel. En este mismo formato también están disponibles algunos libros sobre temáticas generales relacionadas con las Ciencias Planetarias (ej., de Pater and Lissauer, 2001; McBride and Gilmour, 2003) y la Geología de Marte (ej., Carr, 2006), entre otros, que sirven de apoyo a los trabajos de investigación que se llevan a cabo en el laboratorio. Una colección de mapas globales y regionales de la topografía, la orografía o la geología de diversos cuerpos del Sistema Solar completan los recursos adicionales que constituyen PlanetLab.

En el futuro PlanetLab contará con un servidor Web de datos y mapas de diferentes cuerpos del Sistema Solar, y de enlaces Web de centros de investigación y organismos de donde obtener formación, información y datos de interés científico y público.

7. Conclusiones

La creación de un laboratorio de investigación en el campo de las Ciencias Planetarias en general, y de la Geología Planetaria en particular, es el primer paso necesario para poder explotar de manera adecuada el enorme volumen de datos que en la actualidad se dispone de otros cuerpos del Sistema Solar. Además, nuevas misiones están en marcha, se han lanzado o se están construyendo y planificando. Esto implica que serán necesarios nuevos investigadores para su estudio. PlanetLab es un ejemplo de este tipo de laboratorios, cuyas características principales son: (1) reducido coste de equipamiento (hardware); (2) nulo coste de adquisición de programas informáticos (software) por el uso de programas de carácter gratuito; y (3) alta capacidad para la obtención, almacenamiento, gestión, análisis y explotación de los datos usualmente empleados en la investigación geológica de otros cuerpos planetarios.

Los programas listados en este trabajo son los más básicos que pueden cubrir las necesidades normales para la investigación en el campo de la Geología Planetaria, especialmente de Marte. Por otra parte, las fuentes de datos también listadas y comentadas son las fundamentales de donde sacar todas los datos obtenidos por las misiones de las agencias NASA y ESA, aunque existen otras de las que se pueden obtener distintos productos derivados de los datos como mapas temáticos. Aquí se han descrito los más importantes relacionados con el planeta Marte.

8. Bibliografía

- CARR, M. 2006. The surface of Mars. *Cambridge University Press*, UK. 323 pp.
- CHUVIECO, E. 1990. Fundamentos de teledetección espacial. *Ediciones Rialp*, Madrid. 453 pp.
- DE PABLO, M.A. 2004a. Introducción a la investigación en Ciencias Planetarias: fuentes de datos planetarios. En: Rubio, J.J., Pereira, M.D., Sesma, J. y Bárcena,

- M.A. (Coords). Aproximación a las Ciencias Planetarias. *Ed. Universidad de Salamanca*, España. 19-28.
- DE PABLO, M.A. 2004b. Geomorfología e Hidrología de la cuenca Atlantis, Terra Sirenum, Marte. *Ed. Dykinson – Universidad Rey Juan Carlos*, Madrid. 101 pp.
- DE PABLO, M.A. and Pacifici, A. 2006. Lakes, delta and volcanism at the Martian dichotomy. The case of Nephentes Mensae. *European Planetary Science Congress*, I. 447.
- DE PABLO, M.A. 2006. Geologic cartography of Hecates Tholus volcano, Mars. Geomorphologic analysis by GIS. *COSPAR Scientific Assembly*, XXXVI. Abstract #239.
- DE PABLO, M.A. and Komatsu, G. 2007. A smoke-like phenomenon observed in Elysium Planitia, Mars. *Geophysical Research Abstracts*, 9. 01775.
- DE PABLO, M.A., Pacifici, A. and Komatsu, G. 2008. A possible small frozen lake in Utopia Planitia, Mars. *Lunar and Planetary Science Conference*, XXXIX. Abstract #1057.
- DE PATER, I. AND LISSAUER, J.J. 2003. Planetary Sciences. *Cambridge University Press*, Cambridge. 544 pp.
- DOBINSON, E., CURKENDALL, D., PLESEA, L. AND HARE, T.M. 2006. Adaptation and Use of Open Geospatial© Web Technologies for Multi-Disciplinary Access to Planetary Data. *Lunar and Planetary Science Conference*, XXXVII. Abstract #1463.
- HARE, T.M. AND TANAKA, K. L. 2000. Using MOLA and MOC in a GIS. *Lunar and Planetary Science Conference*, XXXI. Abstract #1907.
- HARE, T.M., KIRK, R.L., ARCHINAL, B.A. AND TANAKA, K.L. 2005. *Lunar and Planetary Science Conference*, XXXVI. Abstract #2213.
- HARE, T.M., PLESEA, L., DOBINSON, E. AND CURKENDALL, D. 2007. Advanced Uses of Open Geospatial Web Technologies for Planetary Data. *Lunar and Planetary Science Conference*, XXXVIII. Abstract #2364.
- HARE, T.M., SKINNER, J., LISZEWSKY, E., TANAKA, K. AND BARLOW, N. 2006. Mars crater density tools: project report. *Lunar and Planetary Science Conference*, XXXVII. Abstract #2398
- HARTMANN, W.K. 2005. Martian cratering 8: Isochron refinement and the chronology of Mars. *Icarus*, 174. 294-320.
- HARTMANN, W.K. 2007. Martian cratering 9: Toward resolution of the controversy about small craters. *Icarus*, 189. 274-278.

LEWIS, S.R., COLLINS, M., READ, P.L., FORGET, F., HOURDIN, F., FOURNIER, R., HOURDIN, C., TALAGRAND, O. AND HUOT, J.P. 1999. A climate database for Mars. *Journal of Geophysical Research*, 104. 24,177-24,194.

MCBRICE, N. AND GILMOUR, I. (Editors). An introduction to the Solar System. *Cambridge University Press*, Cambridge. 418 pp.

REES, W.G. 2001. Physical principles of remote sensing. *Cambridge University Press*, UK. 372 pp.