

VMFS: herramienta visual para la enseñanza del funcionamiento de un sistema de ficheros

Ana García-Fornes, Agustín Espinosa, Soledad Valero
Departamento de Sistemas Informáticos y Computación
Universidad Politécnica de Valencia
e-mail: {agarcia, aespinos,svalero}@dsic.upv.es

Resumen

Se ha desarrollado una herramienta que permite a los alumnos conocer de forma sencilla las distintas partes de que consta un sistema de ficheros en el sistema operativo MINIX. En concreto, mediante VMFS¹ es posible estudiar cómo se gestiona en MINIX la asignación del espacio en disco a ficheros, así como las distintas estructuras de datos que se emplean en dicha gestión para implementar diferentes tipos de ficheros. Además, al tratarse de una intuitiva aplicación gráfica, resulta una herramienta muy adecuada para realizar prácticas en el marco de una asignatura orientada a la enseñanza de conceptos básicos y técnicas fundamentales de los sistemas operativos, cuyos alumnos normalmente carecen de grandes conocimientos de programación.

1. Introducción y motivación

La asignatura de Sistemas Operativos I es una asignatura de tipo troncal que se imparte en 2º curso, siendo una asignatura común tanto para las titulaciones de Ingeniero Técnico en Informática de Gestión como de Sistemas, impartidas en la Escuela Técnica Superior de Informática Aplicada², así como para la titulación de Ingeniero de Informática, impartida por la Facultad de Informática³. Ambos centros pertenecen a la Universidad Politécnica de Valencia.

Para el alumno esta asignatura representa la primera aproximación a los sistemas operativos dentro de sus estudios. Posteriormente, para las tres titulaciones citadas, existen asignaturas de carácter obligatorio y optativo que profundizan en

los conceptos de sistemas operativos, como por ejemplo Sistemas Operativos II, Administración de Sistemas Operativos, Estudio de un Sistema Operativo, Servicios de los Sistemas Operativos, Sistemas Distribuidos, etc.

Los objetivos de la asignatura troncal Sistemas Operativos I, abarcan la enseñanza de los conceptos básicos y técnicas fundamentales y organización de los Sistemas Operativos (SO). Asimismo, se pretende que el alumno conozca los servicios proporcionados por los SO, así como que adquieran de la destreza necesaria para manejar un SO. Para ello se dispone de 3 créditos de teoría, 1,5 créditos de prácticas de aula y 1,5 créditos de prácticas de laboratorio. En concreto, el temario de teoría está compuesto por:

- Introducción: Concepto y Evolución de los SO. Servicios ofrecidos por los SO. Llamadas al sistema y Programas del Sistema. UNIX como caso de estudio
- Gestión de procesos: Concepto de procesos. Implementación de procesos. Planificación de procesos. Criterios de planificación. Algoritmos de planificación.
- Gestión de memoria: Conceptos básicos. Asignación contigua. Asignación dispersa. Memoria virtual.
- Sistemas de Ficheros: Introducción a las abstracciones de fichero y directorio. Implementación de ficheros y directorios. Gestión de la ocupación del disco. Eficiencia y consistencia.
- Gestión de E/S: Descripción de las funciones de los manejadores de dispositivos. Manejador de Disco como ejemplo. Planificación del disco y tratamiento de errores.

Complementando a este programa de teoría, existen una serie de sesiones obligatorias de

¹ <http://www.dsic.upv.es/~agarcia>

² <http://www.eui.upv.es/>

³ <http://www.fiv.upv.es/>

prácticas de laboratorio quincenales de dos horas, que se reparten de la siguiente manera:

- Práctica 1: El intérprete de órdenes: programación de “*shell scripts*”. (1 sesión)
- Práctica 2: Desarrollo de un caso concreto (2 sesiones)
- Práctica 3: Gestión de memoria (1 sesión)
- Práctica 4: El sistema de ficheros MINIX (1 sesión)

En concreto, el contenido de la cuarta práctica fue el que motivó el desarrollo de la herramienta objeto de este artículo, debido a la dificultad que implica la enseñanza de un sistema de ficheros a alumnos con pocos conocimientos de programación. Las propuestas habituales para cubrir los contenidos de las prácticas sobre sistemas de ficheros [1][3][4], para una asignatura de carácter básico, suelen ser de dos tipos⁴:

1. Construir programas que utilicen las llamadas al sistema relacionadas con ficheros.
2. Construir programas que simulen el comportamiento de un sistema de ficheros.

La opción 2 (como la propuesta por Tanenbaum⁵) requiere de una gran experiencia en programación, y supone un conocimiento muy detallado de las estructuras de datos y la funcionalidad que proporciona un SO [6][7]. Este grado de dificultad hace este tipo de prácticas inviable en la asignatura que nos ocupa.

La opción 1 sería más adecuada al nivel de una asignatura básica de sistemas operativos, sin embargo sólo permite profundizar en el uso de una interfaz concreta y no permite explicar el funcionamiento interno del SO para dar soporte a un sistema de ficheros. Por ello se pensó en obtener una aplicación gráfica que mostrara de una forma sencilla e intuitiva las distintas partes de las que consta un sistema de ficheros de un SO.

Además, el desarrollo de una herramienta de visualización gráfica de sistemas de ficheros con fines exclusivamente docentes, simplifica y complementa la exposición de los conceptos teóricos, mostrándolos gráficamente con ejemplos reales “on-line”.

⁴ Se han excluido las propuestas de modificaciones de código de un SO por considerarlas materia de asignaturas más avanzadas.

⁵ <http://www.ontko.com/moss/>

La elección del sistema de ficheros a visualizar, se determinó a partir de un equilibrio entre la complejidad y los conceptos y técnicas básicas que se pretendían ilustrar. En ese equilibrio, el sistema operativo MINIX⁶ creado para ayuda a la docencia, resultó el candidato ideal, pues siendo el más simple, contiene todos los elementos básicos de los sistemas de ficheros actuales [6].

En concreto, mediante VMFS (*Visual Minix File System*) es posible estudiar cómo se gestiona en MINIX la asignación del espacio en disco a ficheros, así como las distintas estructuras de datos que se emplean en dicha gestión para implementar directorios y ficheros regulares.

En el siguiente apartado se realizará una breve descripción de la herramienta implementada, mostrando una visión general de las funcionalidades y opciones que ofrece. En el tercer apartado se comentará cómo se ha utilizado esta aplicación a la docencia de las prácticas de Sistemas Operativos I. Para acabar, se citarán brevemente los resultados y conclusiones alcanzadas tras la aplicación de VMFS en las aulas.

2. Descripción de la herramienta

Tal y como se citó anteriormente, la herramienta VMFS⁷ fue creada con fines totalmente pedagógicos, siendo posible estudiar a través de ella cómo se gestiona en MINIX la asignación del espacio en disco a ficheros, así como las distintas estructuras de datos que se emplean en dicha gestión para implementar los siguientes tipos de ficheros: directorios, ficheros regulares, enlaces físicos y simbólicos.

VMFS puede utilizarse sobre cualquier sistema operativo POSIX que soporte el formato de ficheros MINIX, siendo una herramienta gratuita que está a disposición de cualquier usuario en una Web con material de apoyo a la docencia de la asignatura de Sistemas Operativos. Se requiere el intérprete del lenguaje Tcl/Tk⁸ versión 8.0 o superior, que es totalmente gratuito [2][5]. VMFS se configura para que trabaje con un

⁶ <http://www.minix3.org/>

⁷ <http://www.dsic.upv.es/~agarcia/>

⁸ <http://www.tcl.tk/>

sistema de ficheros MINIX montado sobre un directorio concreto.

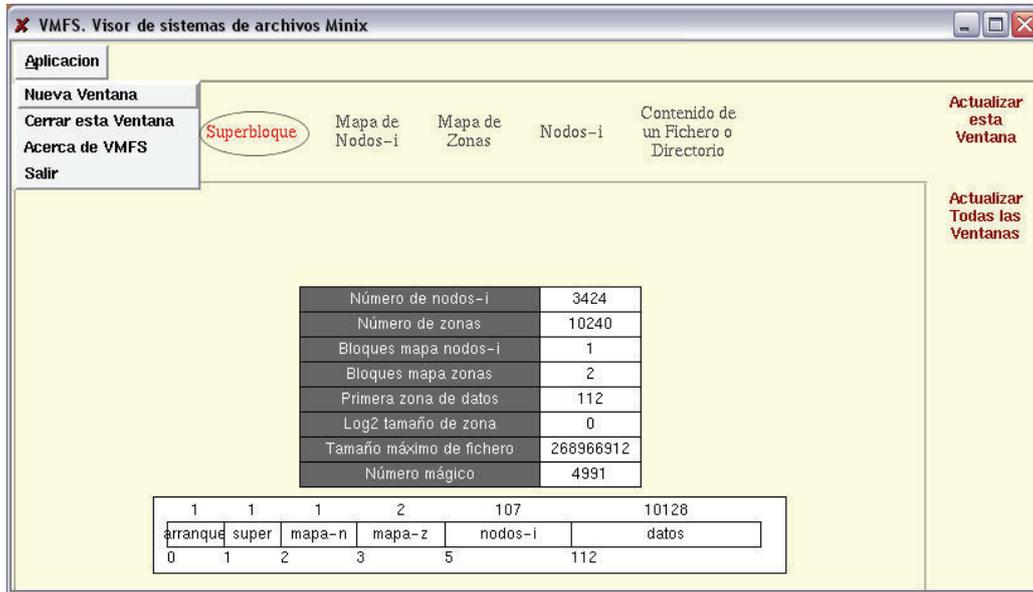


Figura 1. Pantalla principal de VFMS. Opción del menú Superbloque

Por ejemplo, el sistema operativo GNU/Linux soporta una gran variedad de sistemas de ficheros, entre ellos MINIX y también tiene soporte paradispositivos “loop”, que permiten manejar un sistema de ficheros dentro de un fichero.

Estas características permiten utilizar la herramienta VMFS con sistemas de ficheros MINIX que pueden residir en diferentes medios físicos como discos flexibles, particiones de discos duros y ficheros, entre otros.

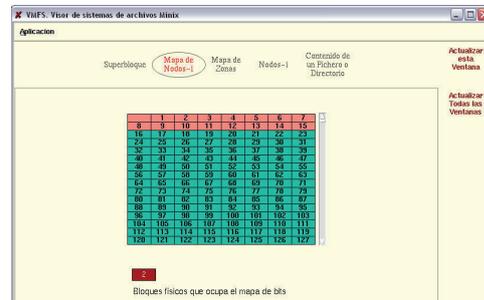
Actualmente, VMFS se utiliza para las prácticas con la distribución de Linux Ubuntu⁹ y dispositivos “loop”, aunque en anteriores cursos académicos fue utilizada sobre diferentes distribuciones de Linux (Red Hat¹⁰, Suse¹¹ y Fedora Core¹²) y con discos flexibles.

Al ejecutar VMFS aparece la pantalla principal de la aplicación (Figura 1), mostrando la información relacionada con el *superbloque* del sistema de ficheros MINIX que se haya montado. En la parte superior de la pantalla se encuentra el menú desde el que puede consultarse las

diferentes estructuras de un sistema de ficheros MINIX. En la parte inferior, se muestra la estructura del dispositivo de bloques, indicando el número de bloques que se le dedican a cada elemento (mapas de bits, nodos-i, etc.)

En la Figura 2 se muestra el contenido del mapa de Nodos-i del sistema de ficheros, mostrando coloreados en rojo los bits que representan nodos-i ocupados, mientras que los de los nodos-i libres se exhiben en verde.

Mediante la opción del menú Mapas de Zonas (Figura 3), se puede apreciar de forma similar el contenido de los bloques que ocupan el mapa de bits de zonas.



⁹ <http://www.ubuntu.com/>
¹⁰ <http://www.redhat.com/>
¹¹ <http://www.novell.com/es-es/linux/suse/>
¹² <http://fedora.redhat.com/>

Figura 2. Opción del Menú Mapa de Nodos-i

Del mismo modo, para visualizar la estructura de un nodo-i en concreto, así como la información que contiene, basta con seleccionar la cuarta opción del menú (Figura 4). Desde esta opción es posible recorrer empleando el ratón los distintos bloques físicos que contienen nodos-i.

i que contiene. Así pues, los nodos-i se encuentran indexados por su número, mostrando igualmente en color los nodos-i utilizados y en verde los libres.

Para ver el contenido de un nodo-i en concreto, basta con pulsar sobre su índice. La información visualizada incluye tanto los atributos del fichero como el contenido de sus punteros directos, indirecto y doble indirecto, mostrando así los números de bloque que ocupa.

Finalmente, mediante la última opción del menú es posible examinar el contenido de los bloques físicos correspondientes tanto a fichero regular (Figura 5) como a un directorio (Figura 6). En concreto, para el caso del fichero regular, se muestra su contenido en hexadecimal, así como su correspondencia en caracteres ASCII. Por otra parte, para el caso de directorios, se interpreta el contenido de los mismos visualizando sus entradas de directorio o enlaces, mostrando para cada una de ellas el nombre de fichero y la referencia al nodo-i asociado.

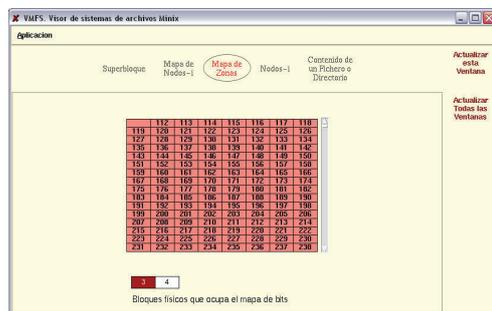


Figura 3. Opción del Menú Mapa de Zonas

Además, para cada bloque físico que se seleccione, se muestran los números de los nodos-

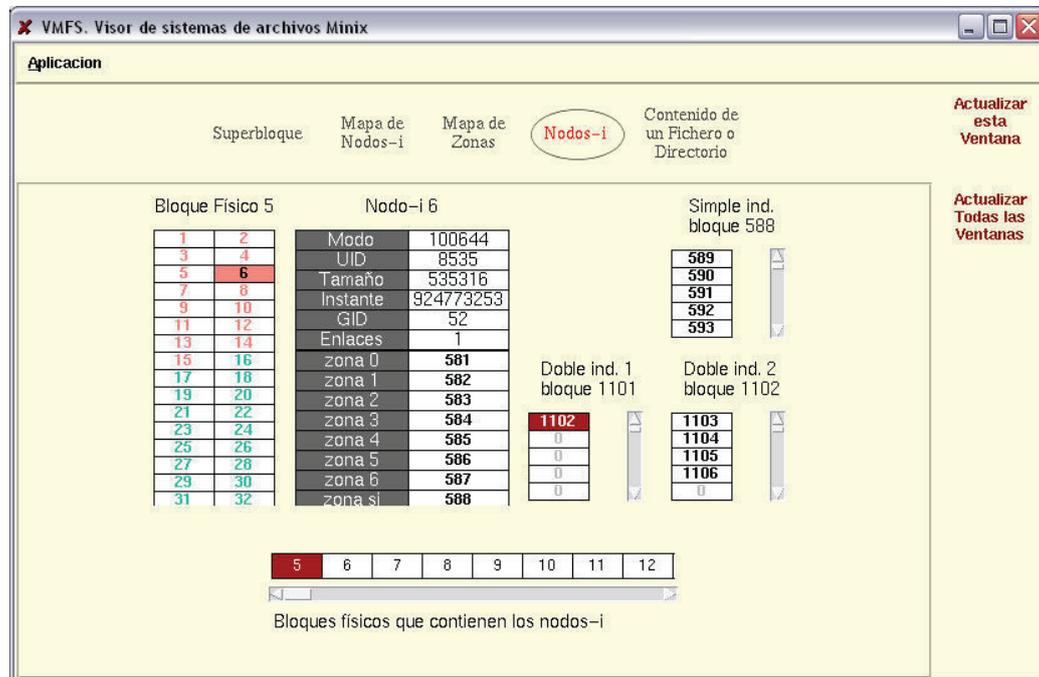


Figura 4. Opción del Menú Nodos-i

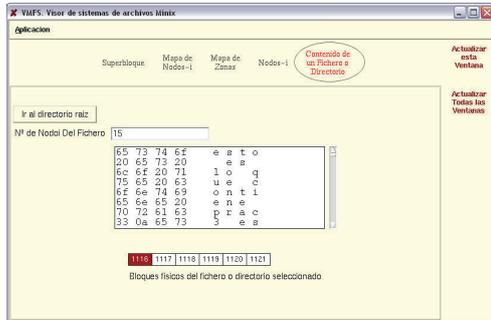


Figura 5. Opción del Menú Contenido de un Fichero o Directorio. Visualización fichero regular

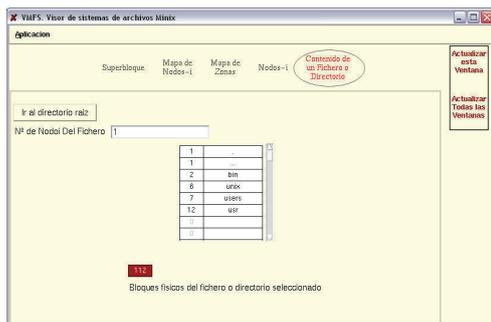


Figura 6. Opción de Menú Contenido de un Fichero o Directorio. Visualización directorio

Por otra parte, la aplicación permite que realicen modificaciones en el sistema de ficheros mientras ésta se encuentre en ejecución, si bien es necesario pulsar en las opciones dedicadas a la actualización de la información: “Actualizar esta ventana” o “Actualizar todas las ventanas”. Éstas están situadas en el lateral derecho de la interfaz de la aplicación (Figura 6).

3. Uso de la herramienta en las prácticas

Los laboratorios donde se realizan las prácticas constan de 20 equipos, permitiendo que los alumnos trabajen por parejas. En cada equipo está instalada la distribución Ubuntu de Linux. Además, la instalación está preparada para que cualquier usuario pueda montar en modo “loop”

un fichero con la imagen de un sistema de ficheros MINIX, en un directorio.

La práctica consta de una única sesión de dos horas de duración. En ella se propone realizar varios ejercicios, en los que hay que crear y modificar un sistema de ficheros MINIX, así como observar y razonar acerca de los cambios que se producen en las estructuras de datos de gestión del sistema de ficheros. Del mismo modo, se plantea contrastar y validar la información con la que proporcionan diversas órdenes de Linux, como por ejemplo “ls” y “df”.

A modo de ejemplo, entre los ejercicios que se proponen realizar se encuentran los siguientes:

1. Crear diferentes sistemas de ficheros MINIX, utilizando para ello la orden `mkfs.minix` con diferentes parámetros. Por ejemplo variando el número máximo de nodos-i y el número de bloques.
2. Analizar y contrastar la información devuelta por la orden `mkfs.minix` con la información visualizada del superbloque que proporciona VMFS.
3. Crear ficheros regulares de diferentes tamaños, con objeto de que se compruebe la diferente utilización, según sea su tamaño, de los punteros directos, indirecto y doble indirecto del nodo-i.
4. Visualizar con VMFS los atributos de cada fichero regular creado (tipo de fichero, UID, GID, permisos de acceso, etc) y compararlos con la información devuelta por la orden “`ls -li`”. Establecer la correspondencia entre cada fichero y su número de nodo-i.
5. Visualizar el contenido del fichero anterior con la orden “`cat`”, o desde un editor de texto. Comparar el resultado de la orden anterior con la información de la ubicación del fichero en disco almacenada en su nodo-i, y la opción de mostrar el contenido de un fichero bloque a bloque de la herramienta VMFS.
6. Crear ficheros directorio con la orden “`mkdir`”.
7. Visualizar los atributos y ubicación en disco de los directorios creados.
8. Crear enlaces físicos y simbólicos, con la orden “`ln`” y “`ln -s`”.
9. Visualizar su implementación en MINIX, con los menús de la herramienta VMFS.

10. Borrar ficheros de diferentes tipos (regulares, directorios, enlaces físicos, enlaces simbólicos). Visualizar y razonar los cambios producidos en los mapas de bits de nodos-i y de zonas, en el contenido de los nodos-i, así como en los bloques que contienen entradas de directorio.
11. Obtener la ocupación del disco, visualizando el mapa de bits de zonas del dispositivo con la herramienta VMFS. Comparar el resultado obtenido con la información devuelta por la orden "df".

Una vez finalizada la práctica, el alumno fija los conocimientos que se les ha proporcionado durante las clases magistrales sobre los sistemas de ficheros y su implementación. Así pues, el alumno experimenta con el sistema de ficheros tanto a nivel de usuario como desde el punto de vista del sistema operativo.

Queremos destacar que, para este último punto de vista, no tenemos conocimiento sobre la existencia de ninguna herramienta libre que permitiera observar, a ese nivel de detalle, la información almacenada por el sistema operativo en el propio dispositivo de bloques (por ejemplo un disco duro, disco flexible, etc.) durante la gestión del sistema de ficheros.

4. Conclusiones

Se ha implementado una aplicación gráfica que muestra de una forma sencilla e intuitiva las distintas partes de las que consta un sistema de ficheros de un sistema operativo. Así, VMFS resulta una herramienta muy adecuada para realizar prácticas en el marco de una asignatura orientada a la enseñanza de conceptos básicos y técnicas fundamentales de los sistemas operativos, puesto que los alumnos normalmente carecen de grandes conocimientos de programación.

Del mismo modo, VMFS también resulta de gran utilidad al docente, puesto que simplifica y complementa la exposición de los conceptos teóricos, mostrándolos gráficamente con ejemplos reales de forma interactiva.

Por otro lado, se han citado a modo de ejemplo de utilización, algunos de los ejercicios que los alumnos han venido realizando en las sesiones de laboratorio.

Se ha observado por parte de los profesores que desde la utilización de VMFS en prácticas de laboratorio, los resultados obtenidos en los ejercicios de las prácticas de aula sobre el sistema de ficheros son mejores que cuando sólo se utilizaba la pizarra para su resolución. Esto nos puede indicar una mejor asimilación de los contenidos teóricos por parte de los alumnos y el valor pedagógico de la herramienta. Sin embargo, no se ha realizado ningún estudio riguroso sobre la aceptación y grado de satisfacción de los alumnos ante el empleo de la herramienta, puesto que no se ha realizado ningún tipo de encuesta y no se han contrastado estadísticamente los resultados en la resolución de los ejercicios antes y después de aplicar la nueva herramienta de prácticas. Así pues, nuestra apreciación del valor pedagógico de la herramienta sólo se basa en nuestra propia observación ante la marcha de las clases, y no en resultados numéricos.

Finalmente, la herramienta desarrollada es de fácil instalación y utilización, pudiendo ser empleada sobre cualquier distribución de Linux. No requiere de ningún tipo de hardware especial o dedicado, puesto que, por ejemplo, VMFS puede ser utilizado con un sistema de ficheros MINIX creado sobre un fichero. Además, es de libre distribución a través de la red y sólo requiere de un intérprete del lenguaje Tcl/Tk versión 8.0 o superior, también gratuito y accesible desde Internet.

Referencias

- [1] Carretero, J., García, F., Pérez, F.: *Prácticas de Sistemas Operativos: de la base al diseño*, McGraw-Hill, 2002.
- [2] Jones, K., Welch, B.: *Practical Programming in Tcl and Tk, 4th Ed.*, Prentice Hall, 2003.
- [3] Nutt, G.: *Sistemas Operativos, 3ª Ed.* Pearson Education - Addison Wesley, 2004.
- [4] Nutt, G.: *Kernel Projects for Linux*, Addison Wesley, 2001.
- [5] Ousterhout, J.: *Tcl and the Tk Toolkit*, Addison Wesley Professional, 1994.
- [6] Tanenbaum, A.S., Woodhull, A.S.: *Operating Systems Design and Implementation, 3ª Ed.*, Prentice Hall, 2006.
- [7] Tanenbaum, A.S.: *Modern Operating Systems, 2ª Ed.*, Prentice Hall, 2001.