



Sistema de Archivos EXT4: Evolución, Funcionamiento y Características Técnicas

1 Introducción

El sistema de archivos EXT4 (Fourth Extended Filesystem) es actualmente uno de los más utilizados en entornos Linux debido a su equilibrio entre rendimiento, estabilidad y compatibilidad. Fue incorporado al kernel principal de Linux oficialmente en 2008 con la versión 2.6.28, como sucesor directo de EXT3, con el propósito de superar las limitaciones de espacio, velocidad y fragmentación que presentaban sus antecesores.

Su relevancia radica en que se ha convertido en la base de la mayoría de las distribuciones modernas de Linux, tanto para equipos personales como para servidores empresariales y centros de datos. Este reporte se presenta como objetivo analizar en profundidad la arquitectura, funcionamiento y características técnicas del sistema de archivos EXT4, proporcionando una comprensión completa de su diseño interno

2 Sistema de archivos

Definamos primero qué es un sistema de archivos. Un sistema de archivos es una estructura jerárquica en forma de árbol invertido que organiza archivos y directorios. En esta estructura, las raíces se encuentran en la parte superior y las ramas se extienden hacia abajo, utilizando directorios para agrupar datos y programas de manera lógica, lo que facilita la gestión simultánea de múltiples archivos y directorios.

Cada sistema de archivos reside en un único volumen lógico, donde todos los archivos y directorios pertenecen exclusivamente a ese sistema de archivos específico. Esta organización permite una gestión ef-

ciente y ordenada de la información, estableciendo relaciones parentales entre directorios y subdirectorios que mantienen la coherencia estructural del almacenamiento.

En esencia, el sistema de archivos actúa como el marco fundamental que determina cómo se almacenan, organizan y acceden los datos en un dispositivo de almacenamiento, proporcionando la base sobre la cual los sistemas operativos y aplicaciones pueden interactuar con la información de manera estructurada y predecible.

3 Antecedentes: de EXT a EXT4

A inicios de los años 90, Linux utilizaba el sistema de archivos MINIX, creado por Andrew Tannenbaum con fines educativos. Sus características, como los nombres de archivo limitados a 14 caracteres y una capacidad máxima de 64 MB, se consideraban adecuadas para los sistemas de aquella época. Sin embargo, el rápido crecimiento del hardware, con discos duros que ya alcanzaban capacidades de entre 40 y 140 MB, hizo evidente la necesidad de un sistema de archivos más avanzado. Por ello, en 1992, Rémy Card desarrolló el primer sistema de archivos EXT, que aprovechaba la capa del sistema de archivos virtual (VFS) del kernel de Linux y permitía nombres de hasta 255 caracteres y volúmenes de hasta 2 GB. No obstante, EXT contaba con un sistema de marcas de tiempo limitado, lo que impulsó la creación de EXT2 un año después. Esta nueva versión, más estable y eficiente, se inspiró en el Berkeley Fast File System (FFS) y fue capaz de manejar archivos de varios gigabytes, convirtiéndose en la base de los sistemas Linux durante años. En 1998, Stephen Tweedie presentó EXT3, integrado al kernel en 2001, que introdujo el registro por bitácora (journaling) para preservar la integridad de los datos ante fallos y consolidó la fiabilidad del sistema de archivos en entornos productivos. Posteriormente, en 2006, Theodore Ts'o presentó EXT4, que se integró al kernel en 2008. EXT4 fue concebido como una evolución directa de EXT3, con el objetivo de ampliar sus capacidades y mantener la compatibilidad con versiones anteriores. Aunque Ts'o lo consideró un paso intermedio hacia sistemas de archivos más avanzados, EXT4 terminó consolidándose como una solución madura y confiable. Incorporó mejoras sustanciales en el manejo de grandes volúmenes de datos, optimizaciones en el rendimiento y una mayor eficiencia en la gestión del almacenamiento, lo que permitió su adopción masiva en entornos empresariales y sistemas de producción, estableciendo nuevos estándares de estabilidad y desempeño dentro del ecosistema Linux.

4 Arquitectura y funcionamiento de EXT4

El sistema de archivos EXT4 representa una de las versiones más sólidas y estables del entorno Linux. Conserva el registro por bitácora (journaling) heredado de EXT3, que registra las operaciones pendientes

antes de aplicarlas, ofreciendo una mayor protección frente a la corrupción de datos en caso de fallos. Gracias a esta función, EXT4 logra un equilibrio notable entre confiabilidad, rendimiento y eficiencia.

Entre sus innovaciones más destacadas se encuentran los extents, que agrupan bloques contiguos de datos en lugar de los mapas de bloques individuales de versiones anteriores. “*Una extensión se describe mediante su ubicación inicial y final en el disco duro*”, lo que permite gestionar archivos largos y contiguos con una sola entrada de puntero en el inodo. Este método simplifica la estructura interna, reduce la cantidad de metadatos y mejora significativamente la velocidad de acceso, especialmente en archivos grandes. Esta optimización convierte a EXT4 en un sistema capaz de manejar mejor la fragmentación y aprovechar el espacio de manera más inteligente. EXT4 maneja la ubicación de los datos mediante un direccionamiento interno de 48 bits, lo que en teoría le permite administrar volúmenes enormes, de hasta 1 exbibyte (EiB) —una cifra equivalente a un millón de terabytes—, y archivos individuales de hasta 16 tebibytes (TiB). Esto es posible porque el sistema utiliza los bloques como su unidad básica de almacenamiento. Si cada bloque mide 4 kilobytes (4 KiB), un esquema de 48 bits puede direccionar hasta 2^{48} posiciones diferentes; al multiplicar esa cantidad por el tamaño de cada bloque (2^{12} bytes), se obtiene un total de 2^{60} bytes, que corresponde justamente a 1 EiB.

Sin embargo, en la práctica, estos valores son más teóricos que reales. Las implementaciones utilizadas en entornos empresariales, como las de Red Hat Enterprise Linux, suelen limitar el tamaño máximo de los volúmenes a entre 50 y 100 TiB. Esta decisión no responde a una limitación del formato, sino a consideraciones de rendimiento y estabilidad: manejar volúmenes demasiado grandes puede hacer que las operaciones de mantenimiento (como la verificación o reparación del sistema de archivos) sean mucho más lentas y consuman una enorme cantidad de recursos.

Otra característica clave es la asignación demorada (delayed allocation), que pospone la escritura física de los datos hasta el momento más adecuado. Esto permite al sistema organizar mejor la información, reduciendo la fragmentación y mejorando el rendimiento general. Aunque esta técnica aporta eficiencia, también implica un riesgo: si ocurre una falla antes de que los datos se graben definitivamente, parte de la información podría perderse.

EXT4 conserva compatibilidad hacia atrás con EXT2 y EXT3, lo que demuestra una preocupación por la continuidad tecnológica sin dejar de avanzar. Sin embargo, esta compatibilidad es unidireccional, ya que los sistemas antiguos no pueden leer particiones formateadas en EXT4, lo que refleja las tensiones entre progreso e interoperabilidad.

Además, incorpora mejoras como la desfragmentación en línea, el aumento del límite de subdirectorios, la precisión temporal en nanosegundos y las sumas de comprobación en el journal, que refuerzan su estabilidad y fiabilidad.

A pesar de todas sus virtudes, EXT4 ya no encabeza la innovación en sistemas de archivos. En un contexto donde tecnologías más modernas como Btrfs o ZFS apuestan por la autorrecuperación y la integración con snapshots (instantáneas del sistema de archivos), EXT4 se mantiene como un pilar clásico: un sistema maduro, robusto y confiable, que sigue siendo la elección preferida cuando la estabilidad y el rendimiento son prioridad.

5 Estructura interna del sistema EXT4

El sistema de archivos EXT4 organiza la información mediante una jerarquía estructurada que integra bloques, grupos de bloques, inodos y directorios, cada uno con un papel preciso en la gestión eficiente del almacenamiento. Aunque hereda gran parte de su diseño de los sistemas EXT anteriores, introduce una mayor coherencia y optimización en la forma en que los datos se administran y localizan dentro del disco.

Bloques e inodos. Los bloques constituyen la unidad mínima de almacenamiento, mientras que los inodos funcionan como la “memoria administrativa” del sistema: contienen la información esencial de cada archivo, incluyendo la ubicación de los bloques de datos, su tipo, permisos y tamaño. Cada inodo dispone de espacio para múltiples punteros que señalan las posiciones físicas o las extensiones de datos correspondientes. Esta estructura refuerza la eficiencia del acceso, pero también muestra una dependencia fuerte de la organización interna del sistema, donde cualquier error en los metadatos puede comprometer la integridad de los archivos.

Grupos de bloques y mapas de bits. EXT4 agrupa los bloques en conjuntos conocidos como grupos de cilindros, una estrategia heredada de EXT2 que facilita una gestión más granular del espacio. Cada grupo mantiene su propio sistema de control mediante mapas de bits, donde cada bit representa una zona de datos o un inodo: un valor de cero indica espacio libre y un uno señala su ocupación. Esta forma de administración local permite una asignación más rápida y eficiente, aunque requiere una coordinación constante entre los grupos para evitar fragmentación o redundancia.

Directorios. En este sistema, los directorios se comportan esencialmente como archivos planos que vinculan una cadena de caracteres (usualmente en formato ASCII) con un número de inodo. Este mecanismo permite la existencia de varias entradas que apunten al mismo inodo, conocidas como enlaces físicos. A nivel conceptual, esto refleja la lógica simple pero poderosa de EXT4: los nombres de archivo son solo referencias, mientras la verdadera identidad del archivo reside en su inodo. Así, el acceso a los datos depende directamente de la integridad de esta relación, lo que exige una estructura bien mantenida para garantizar la coherencia del sistema.

6 Gestión del Journal

EXT4 cuenta con diferentes modos de operación para su sistema de registro (journal), los cuales determinan cómo se gestionan las escrituras de datos y metadatos dentro del disco.

Modo Ordered (ordenado): Es el más común y el que emplean por defecto la mayoría de las distribuciones Linux. En este esquema, el sistema registra los metadatos en el journal, mientras que los datos se escriben directamente en el sistema de archivos principal. La clave está en el orden: primero se registran los metadatos, luego se guardan los datos y, finalmente, el journal se sincroniza con el sistema de archivos. Este proceso asegura que, si ocurre un fallo, los metadatos de las operaciones incompletas permanezcan en el journal, permitiendo restaurar la coherencia del sistema sin pérdida generalizada. En otras palabras, el modo ordenado puede corromper un archivo que se estaba escribiendo en el momento del fallo, pero protege la integridad del sistema completo, evitando daños más amplios.

Modo Writeback (post-escritura): Prioriza el rendimiento sobre la seguridad. Aquí, tanto los metadatos como los datos pueden escribirse en cualquier orden, según convenga al sistema. Esto agiliza la escritura y mejora la velocidad, pero también aumenta el riesgo de pérdida o corrupción si el sistema falla antes de completar las operaciones. En este modo, el sistema de archivos sigue siendo recuperable, aunque los archivos recientes pueden no serlo.

7 Comparación con otros sistemas de archivos

A pesar de su robustez, EXT4 ha comenzado a ser reemplazado en ciertos contextos por sistemas más modernos que ofrecen características avanzadas. Entre las alternativas más significativas se encuentran:

XFS: Optimizado para grandes volúmenes y entornos empresariales, ofrece un alto rendimiento en sistemas de archivos extensos y maneja eficientemente altos grados de concurrencia, es decir, múltiples procesos escribiendo de forma simultánea. XFS se convirtió en el sistema de archivos predeterminado de Red Hat Enterprise Linux a partir de RHEL 7. Sin embargo, presenta algunas limitaciones para usuarios domésticos, siendo la más notable la dificultad para redimensionar un sistema de archivos existente.

Btrfs: Diseñado como el sucesor natural de EXT4, persigue objetivos similares a los de ZFS, integrando funciones como gestión de múltiples dispositivos, sumas de comprobación por bloque, replicación asíncrona y compresión en línea. Aunque se considera estable y funcional en configuraciones de un solo disco, su rendimiento puede ser inferior al de EXT4, XFS o ZFS en ciertos escenarios, especialmente cuando se emplea como gestor de volúmenes.

ZFS: Desarrollado por Sun Microsystems, es considerado un sistema de archivos de última generación. Ofrece gestión de volúmenes, comprobación criptográfica a nivel de bloque, reparación automática de

corrupción, replicación incremental rápida y compresión en línea, entre otras funciones avanzadas. No obstante, su adopción en Linux se ha visto limitada por cuestiones de licencia que dificultan su integración directa con el kernel.

EXT4 mantiene ventajas notables en compatibilidad, simplicidad y soporte del kernel, lo que garantiza su relevancia dentro del ecosistema Linux. En conjunto, se mantiene como una opción confiable y equilibrada: suficientemente moderna para entornos productivos, pero también estable y madura para usuarios que priorizan la seguridad y la compatibilidad por encima de las funciones experimentales.

8 Comparativa: EXT3 vs EXT4

Característica	EXT3	EXT4
Año de lanzamiento	1999	2008
Tamaño máximo de archivo	2 TiB	16 TiB
Tamaño máximo de sistema de archivos	16 TiB	1 EiB
Método de asignación	Mapas de bloques	Extents
Límite de subdirectorios	32,000	Ilimitado
Desfragmentación en línea	No	Sí
Marcas de tiempo	Segundos	Nanosegundos
Compatibilidad hacia atrás	No	Sí (con EXT3 y EXT2)

Table 1: Comparación técnica entre EXT3 y EXT4

9 Aplicaciones prácticas y escenarios de uso

EXT4 es especialmente recomendable en:

- **Sistemas de escritorio y portátiles Linux:** por su equilibrio entre velocidad y estabilidad.
- **Servidores medianos o de bases de datos:** por su buen rendimiento en operaciones secuenciales.
- **Dispositivos embebidos e IoT:** su bajo consumo de recursos lo hace ideal para hardware limitado.

En contraste, entornos que requieren replicación o alta tolerancia a fallos suelen optar por Btrfs o ZFS.

10 Conclusiones

El sistema de archivos EXT4 representa una solución madura y eficiente dentro del ecosistema Linux. Su diseño balancea adecuadamente **rendimiento, estabilidad y compatibilidad**, lo que explica su adopción generalizada en servidores, estaciones de trabajo y dispositivos embebidos.

Aunque existen alternativas más modernas como Btrfs o ZFS, EXT4 continúa siendo una opción preferida por su robustez y fiabilidad en entornos de producción. Su estudio permite comprender cómo la evolución de los sistemas de archivos responde directamente a las demandas de almacenamiento masivo, seguridad de datos y eficiencia operativa en sistemas modernos.

11 Referencias bibliográficas

References

- [1] Arch Linux Wiki. (s.f.). *EXT4 (Español) – ArchWiki*. Disponible en: [https://wiki.archlinux.org/title/Ext4_\(Español\)](https://wiki.archlinux.org/title/Ext4_(Español))
- [2] IONOS Digital Guide. (s.f.). *Sistemas de archivos: cómo funcionan y cuáles existen*. Disponible en: <https://www.ionos.mx/digitalguide/servidores/know-how/sistemas-de-archivos/>
- [3] Kim, H.; Kim, S.; Shin, Y.; Jo, W.; Lee, S.; Shon, T. (2021). *Ext4 and XFS File System Forensic Framework Based on TSK. Electronics*, 10(18), 2310. Disponible en: <https://doi.org/10.3390/electronics10182310>
- [4] The Linux Kernel Documentation. (s.f.). *EXT4 – Directory Structure*. Disponible en: <https://www.kernel.org/doc/html/latest/filesystems/ext4/directory.html>
- [5] Opensource.com. (2017). *An Introduction to the EXT4 Filesystem*. Disponible en: <https://opensource.com/article/17/5/introduction-ext4-filesystem>
- [6] Opensource.com. (2018). *Understanding the EXT4 Filesystem*. Disponible en: <https://opensource.com/article/18/4/ext4-filesystem>
- [7] PhoenixNAP. (2023). *¿Qué es EXT4? Definición y características del sistema de archivos EXT4*. Disponible en: <https://phoenixnap.mx/glosario/ext4>
- [8] Red Hat Documentation. (2021). *The EXT4 File System – Overview of Available File Systems*. Red Hat Enterprise Linux 8. Disponible en: https://docs.redhat.com/es/documentation/red_hat_enterprise_linux/8/html/managing_file_systems/the-ext4-file-system-overview-of-available-file-systems