

Relación Estructural entre la Enterobacteria *Escherichia Coli* y el Sistema Operativo Linux

Structural Relationship between Enterobacter *Escherichia Coli* and the Linux OS

Jairo E. Márquez D.*

RESUMEN

Los sistemas operativos son elementos inherentes a cualquier plataforma computacional; estos permiten la gestión de recursos de hardware y software que manipula el usuario. En particular, el sistema operativo Linux, en su kernel y en la shell, busca organizar su estructura interna de tal manera que facilite la comprensión e incremente la portabilidad y extensión con el fin de favorecer su mantenimiento. Por consiguiente, frente a esta estructura, bacterias como la *Escherichia Coli* presentan cierta similitud con respecto a la funcionalidad, pero mejor adaptada, debido a la dinámica interna que presenta su ADN, minimizando los problemas rutinarios que se presentan en un computador.

Palabras Claves: Sistema operativo, Linux, E. Coli.

ABSTRACT

Operating systems are an inherent component in any computing platform. These resources allow for managing hardware and software executed by the user. In particular, the Linux operating system, in its Kernel and Shell, seeks to organize its internal structure in such a way that it facilitates understanding and increasing portability and extension to help maintenance. Therefore, based on this structure, bacteria such as *Escherichia coli* has some similarity with respect to its functionality, but better adapted, due to internal dynamics that has its DNA, minimizing the routine problems that occur on a computer.

Key Words: Operative Systems, Linux, E. Coli.

* Ms. Ing. De Sistemas, Lic. Matemáticas y Física. Universidad De Cundinamarca Ext. Chía. Correo electrónico: nanotechrd@gmail.com

1. INTRODUCCIÓN

El Sistema Operativo (SO) es el programa más importante de un computador, ya que éste es el que permite que funcionen otros programas instalados en el sistema, en el cual se gestiona la información y el procesador; los dispositivos periféricos; la memoria principal y secundaria; el reconocimiento del hardware instalado; la gestión de los archivos y directorios en el disco, al igual que la seguridad de los mismos. Es por ello que se habla de niveles de operatividad de un SO: Gestión de aplicaciones (se encarga de la sincronización entre procesos, conmutación de la CPU, gestión de interrupciones y arranque inicial), gestión de la información (creación y destrucción de archivos y directorios, apertura y cierre de archivos, lectura y escritura de archivos y protección de acceso), gestión de los dispositivos (planificación y creación de procesos de E/S, asignación y liberación de dispositivos de E/S), gestión de procesos (creación, destrucción, intercambio de mensajes, detención y arranque de procesos), gestión de memoria (asigna y libera memoria, controla la violación de acceso) y gestión del procesador (se encarga de la sincronización entre procesos, conmutación de la CPU, gestión de interrupciones y arranque inicial).

2. SISTEMAS OPERATIVOS

Un Sistema Operativo (SO) es un software que actúa como puente y sistema de gestión e interacción entre el *hardware* y los programas instalados y/o aplicaciones en el computador. El SO se encarga de administrar todos los recursos del sistema, tales como la CPU (Unidad Central de Proceso, donde está alojado el microprocesador), los dispositivos de entrada/salida, la memoria principal, los discos duros (o memoria secundaria) y los procesos (o programas en ejecución).

Los sistemas operativos se pueden agrupar en tres grandes familias: familia Windows (95, 98, ME, NT, 2000, 2000 server, XP, Server 2003, CE, Mobile, XP 32 y 64 bits, Vista, 7, 8 y 8.1), familia Macintosh (Mac OS 7, OS 8, OS 9, OS X y el iPhone OSX) y familia UNIX (AIX, AMIX, GNU/Linux, GNU / Hurd, HP-UX, Irix, Minix, System V, Solaris y UnixWare). La distribución de las familias y uso generalizado se muestra en la siguiente gráfica:

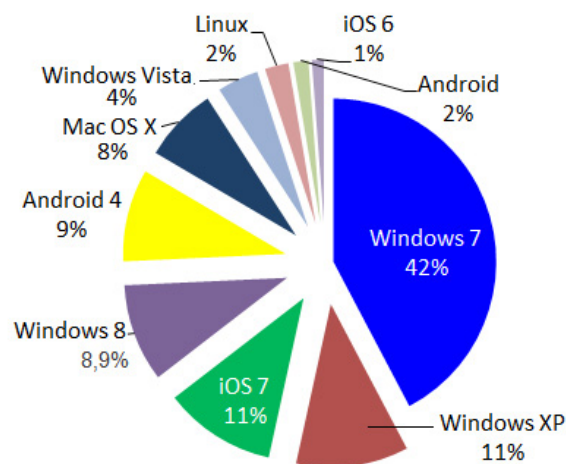


Figura 1. Estimación de participación del mercado de los sistemas operativos, según una muestra de computadoras con acceso a Internet a junio de 2014.

Fuente: W3counter.com

Los sistemas operativos, según su funcionalidad asociada al equipo o equipos sobre el que se instala, se clasifica como *monousuario* (Sólo permite ejecutar los programas de un usuario al mismo tiempo), [1] *multiusuario* (permite que dos o más usuarios utilicen sus programas al mismo tiempo), *multiprocesador* (permite abrir un mismo programa en más de un computador), *multitarea* (se ejecutan varios programas al mismo tiempo), *monotarea* (sólo se puede ejecutar un proceso en un momento dado hasta su finalización y/o interrupción) [2], *multitramo* (permite que diversas partes de un solo programa funcionen al mismo tiempo) y de *tiempo Real* (permite responder a las entradas del sistema de forma inmediata). Con respecto al manejo de recursos se tiene el sistema operativo *centralizado* (utiliza los recursos de una sola computadora) y *distribuido* (emplea recursos tanto de hardware como de software de más de una computadora al mismo tiempo).

3. LINUX

Linux es un sistema operativo compatible con UNIX, el cual es un conjunto de programas encargados de gestionar los recursos del sistema o kernel (núcleo del sistema), [3] que permiten a un usuario gestionar los recursos hardware del sistema y construir aplicaciones. Linux dispone de un amplio conjunto de utilidades, tales como editores de texto, compiladores, gestores de ventanas, calculadora, juegos, etc., que lo hacen más amigable al uso de un computador bajo este SO.

En cuanto a la estructura interna de Linux, se manejan algoritmos por capa que no son visibles a las demás. Esto permite que el sistema pueda evolucionar, siempre y cuando se mantengan las interfaces. Así, esta característica estructural por capas permite codificar y probar de modo independiente los códigos, para luego hacer las pruebas de integración y de conjunto. Esta codificación emplea varios elementos que permiten la comunicación entre procesos tales como: las señales, tuberías, sockets (TCP/IP), manejadores o drivers, sistemas de archivos [4] y directorios.

Linux es un SO multiusuario, por lo que cada usuario dispone de un espacio de memoria y un subdirectorio de trabajo al cual solo él tiene acceso. Este le confiere seguridad al sistema e impide que otros usuarios puedan escribir o leer ficheros fundamentales para la integridad del sistema. Puesto que el *kernel* es el encargado de gestionar el hardware, los usuarios necesitan comunicarse con él; para ello se utiliza otro programa conocido como el *shell*. El *shell* es un intérprete de línea de comandos que traduce los comandos tecleados por el usuario y los convierte en instrucciones que puede entender el *Kernel* [5]. Es por ello que Linux puede dividirse en cuatro componentes: El núcleo, el *Shell*, el sistema de archivos y los programas básicos con los que trabajar [6]. Al conjunto formado por estos cuatro componentes se le llama distribución. Es decir, al núcleo junto con las aplicaciones y utilidades necesarias para realizar un trabajo determinado. En la actualidad hay más de treinta distribuciones.

La estructura de archivos de Linux es de tipo jerárquica y depende de los directorios, los cuales se asemejan a una estructura de árbol, en la que cada nudo está compuesto por un directorio o carpeta que contiene otros directorios o archivos.¹ - Los archivos se agrupan en conjuntos llamados directorios. Un directorio puede tener subdirectorios, formándose así una estructura

¹ En Windows, cada unidad de disco se identifica como una carpeta raíz identificada con una letra, que por defecto es: a:, c:, d: etc. Para sistemas UNIX, y por ende Linux, existe solo una raíz llamada / a la que se adhieren todos los ficheros y directorios.

jerárquica con la forma de un árbol invertido (ver Figura 2). El directorio inicial de esa jerarquía se denomina directorio *raíz* y se simboliza con una barra de división (/). Por consiguiente, la organización se realiza conforme a una convención, en la cual se encuentran generalmente los siguientes archivos y directorios: El directorio raíz de superusuario o */root*, directorios del sistema que contiene los programas de uso común para todos los usuarios */usr*, subdirectorios para los medios de almacenamiento */media*, los programas ejecutables o binarios */bin* (Por ejemplo los ejecutables de las órdenes *ls*, *cd*, *cp* y *mv*), almacenamiento de archivos varios */etc*, directorio */home* de los usuarios, librerías de compartidas */lib*, dispositivos */dev*, directorio para montar sistemas de ficheros */mnt*, información de los procesos que se ejecutan en el sistema */proc*, programas para la administración del sistema */sbin*, y ficheros temporales */tmp*, entre otros más.

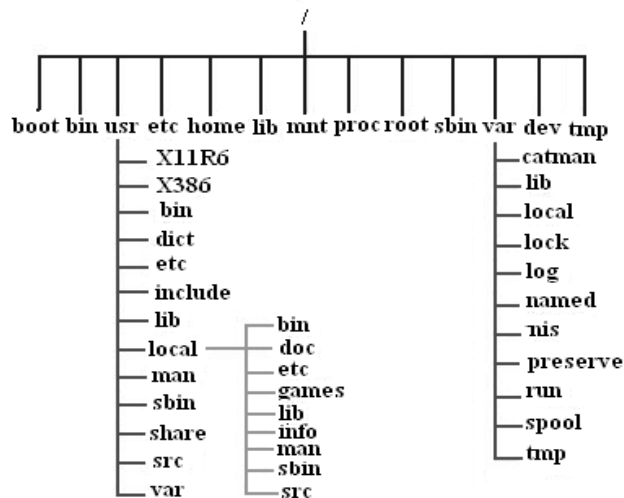


Figura 2. Estructura del sistema de archivos de Linux, el cual se organiza por medio de directorios, que pueden contener subdirectorios según una jerarquía, tal como se muestra en los directorios bajo el directorio raíz que están en azul.

Fuente: Elaboración del autor.

Cabe agregar que la estructura incluye una interfaz de llamadas de alto nivel, asociada a modo usuario. Esta interfaz pasa a la fase de validación de argumentos de las llamadas al sistema, quien conmuta con los sistemas de archivos. Posteriormente, se genera una serie de tareas propias del sistema operativo, como la del manejador de memoria y procesos, manejador de archivos (sistema de archivos), manejador de buffer de caché y manejador de terminales, los cuales se comunican con la interfaz de sockets, *streams* y pila de red.

Los manejadores citados se conectan con las bibliotecas del *kernel*, que a la vez están subdivididas en los manejadores de callouts, las estructuras del núcleo y las estructuras de datos compartidas entre el nivel alto y bajo del kernel. Cada una de estas partes cumple funciones específicas dentro del sistema operativo como son las llamadas al sistema y los mecanismos de control de acceso por parte de los procesos a los recursos del SO, todos ellos relacionados con los manejadores de dispositivo.

Para el caso del kernel de bajo nivel [7] aparecen los manejadores de interrupciones, el manejador de *traps* de llamadas al sistema y el manejador de excepciones. Estos manejadores se

conectan con la tabla *dispatch* y el *callout* de bajo nivel. Finalmente, la interfaz, la validación, la conmutación y los manejadores convergen al hardware del sistema.

4. ESCHERICHIA COLI

La *Escherichia coli* [8] es una bacteria procarionte que se encuentra generalmente en los intestinos animales y en las aguas residuales. Esta bacteria, en conjunto con otras, es necesaria para el correcto funcionamiento del proceso digestivo en cierto grupo de mamíferos, incluyendo al hombre, sumado a que produce las vitaminas B y K.

La E. coli es un bacilo anaeróbico (vive sin oxígeno) que se desplaza por medio de flagelos peritricos (que rodean su cuerpo y rotan en sentido levogiro, provocando que la bacteria se mueva a favor de las manecillas del reloj). Como su hábitat son los intestinos de la mayor parte de los mamíferos sanos, si la bacteria no sufre alteraciones genéticas que codifican factores virulentos, esta actúa como comensal formando parte de la flora intestinal y ayudándola a la absorción de los nutrientes. Para el caso contrario, la E. coli puede causar infecciones intestinales y extra-intestinales severas, tales como infecciones del aparato excretor, cistitis, meningitis, peritonitis, mastitis, septicemia y neumonía Gram-negativa, entre otros.

Existe una gran familia de cepas de la E. coli, donde la mayoría de ellas son inocuas y viven en los intestinos de los seres humanos y animales saludables. De las que pueden ocasionar enfermedades graves se encuentran las que producen Síndrome urémico hemolítico, solidificación ósea y diarreas hemorrágicas. Se distinguen seis cepas, según su poder patógeno (también se les puede llamar virotipos): E. coli enteropatógena, E. coli enterotoxigénica, E. coli enteroinvasiva, E. coli enterohemorrágica o verotoxigénica, E. coli enteroagregativa y E. coli adherencia difusa.

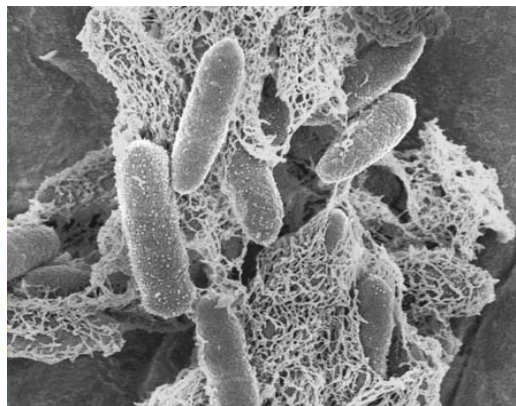


Figura 3. La Escherichia Coli, por lo general, es indefensa pero en ocasiones puede ser nociva, debido a las infecciones intestinales y extra-intestinales que puede generar, y cuando su proliferación se excede en demasía.

Fuente: Rosemere Neighborhood Association, s.f.

La E. Coli, presenta valores de H que oscilan desde 0,47 hasta 0,52 [9]. La H es la medida de variación genética más utilizada en este tipo de estudios. Sus valores oscilan entre 0, si no hay variación, a un máximo de 1, donde cada individuo de la población presenta una forma alélica

diferente [10]. En estos análisis se encuentran relativamente pocos genotipos² multiloci, en relación a todos los genotipos posibles si las poblaciones fueran sexuales, sugiriendo que la especie es clonal [11]. Estas variaciones hacen pensar que la estructura de nucleótidos, a lo largo de la secuencia, fluctúa según la cepa y lo hará aún más cuando se presentan mutaciones in vivo e in vitro.

La secuencia de la E. Coli contiene gran cantidad de adenina y timina, lo que facilita la separación de las cadenas, y es reconocida por proteínas iniciadoras que controlan este proceso, de forma que una vez unidas las proteínas iniciadoras al ADN provocan el desenrollamiento de estas regiones de fácil desnaturalización³ [12]. Estas proteínas reclutan el resto de proteínas que conforman el replisoma, que son necesarias para la síntesis de ARN y ADN, empezando por la helicasa. Esta enzima [13], generalmente con forma de anillo y de alta procesividad, se une a la región de ADN monocatenario, resultante del desenrollamiento, desplazándose a lo largo del ADN mediante consumo de ATP (trifosfato de adenosina o adenosín trifosfato)⁴ en dirección a la horquilla de replicación, es decir, en dirección $5' \rightarrow 3'$ en la hebra rezagada y $3' \rightarrow 5'$ en la hebra adelantada, rompiendo los puentes de hidrógeno que mantienen unida la doble hélice. [14]

A medida que las helicasas avanzan, se generan súper enrollamientos en la doble cadena de ADN, que son controlados y eliminados en su defecto por las topoisomerasas, que son enzimas que cortan una o dos cadenas de ADN. El tamaño total de la E. Coli es de 4.6 Megabases, [15] con un número de genes estimado de 4.289. Con este tamaño, fue relativamente sencillo debelar la estructura de esta bacteria, la cual es empleada en números experimentos de síntesis enzimática y clonación viral atenuada entre otros.

5. ESTRUCTURA OPERATIVA ENTRE E. COLI Y LINUX

La ingeniería del software afronta un gran reto a la hora de diseñar sistemas de control que funcionen idealmente sin fallos. Este mismo fenómeno se puede extrapolar en la operatividad de un organismo vivo, el cual busca funcionar de manera ideal, minimizando errores en sus procesos, superando con creces a un computador. En un estudio desarrollado por un equipo de la Universidad Yale, se ha descubierto que las distintas soluciones que se dan en el desarrollo y funcionalidad de un sistema operativo, puede ayudar a explicar por qué los organismos vivos tienden menos a funcionar incorrectamente que los ordenadores. Para ello, se hizo una comparación de la evolución de una bacteria llamada Escherichia coli y el sistema operativo Linux.

Para este estudio, se hizo la analogía de un sistema operativo con respecto al genoma de un organismo vivo. Las redes de la E. coli y la de Linux, se organizan en forma jerárquica, claro está, con algunas diferencias en cuanto a su eficiencia operacional.

2 Un genotipo es un conjunto o parte de la constitución genética de un individuo. Conjunto de los genes existentes en cada uno de los núcleos celulares de los individuos pertenecientes a una determinada especie vegetal o animal.

3 Cambio estructural de las proteínas o ácidos nucleicos, donde pierden su estructura nativa, y de esta forma su óptimo funcionamiento y a veces también cambian sus propiedades físico-químicas.

4 El ATP es un nucleótido cuya función es sintetizar energía celular.

Las redes moleculares en la bacteria están organizadas en una pirámide, con una cantidad limitada de genes reguladores maestros en la cima que controlan una amplia base de funciones especializadas, las cuales actúan independientemente. Por otra parte, el sistema operativo Linux está organizado más como una pirámide invertida, en la que muchas rutinas diferentes de alto nivel controlan unas pocas funciones genéricas en el fondo de la red. Esta organización es consecuencia de que los ingenieros de software tratan de ahorrar dinero y tiempo, recurriendo para ello a construir sobre rutinas existentes en vez de crear los sistemas desde cero. Esto significa que el sistema operativo es más vulnerable a fallas porque incluso la simple actualización de una rutina genérica puede ser muy problemática. Para compensar el riesgo, esos componentes genéricos tienen que ser mejorados continuamente por los diseñadores.

Para el caso de la *E. coli*, el proceso difiere: sin un ajuste cuidadoso, una alteración de esas importantes autopistas moleculares, a causa de mutaciones aleatorias, sería fatal; de ahí que la *E. coli* no puede tener componentes genéricos y ha conservado una organización con módulos altamente especializados. Esa organización ha demostrado ser robusta al resistir el paso de millones de años de evolución, protegiendo al organismo de dañinas mutaciones aleatorias. [16]

6. CONCLUSIONES

La bacteria *E. coli* es la mejor conocida del mundo, en la que apenas se ha comenzado a entender su ecología y su biología evolutiva y, para ello, la estructura del sistema operativo de Linux brinda la ayuda para empezar a develar sus secretos.

La *E. coli* es una bacteria muy diversa, cuyo genoma es altamente dinámico, con una amplia y compleja sexualidad que, a manera de analogía con Linux, se organiza en forma de directorios o secuencias genómicas, cuya operatividad difiere una de la otra, pero en conjunto es imprescindible. Así, con la estructura del SO de Linux extrapolado a la *E. coli*, sumado a la existencia de diversas herramientas genéticas moleculares, puede dar explicación sobre los estudios ecológicos y evolutivos en poblaciones bacterianas naturales y/o artificiales. Este es un ejemplo de cómo la ingeniería de sistemas o de la computación, se extiende incluso al ámbito de la genética y la biología evolutiva entre otras ciencias biológicas.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] L. Durán, *El Gran libro del PC interno: programación de sistemas hardware a fondo*. España: Marcombo, Ediciones Técnicas, 2007.
- [2] D. L. Martínez, *Procesos y administración del procesador*. Sistemas Operativos, Departamento de Informática, -Argentina: Universidad Nacional del Nordeste. UNNE, 2001.
- [3] M. Garrels, *Introduction to Linux A Hands on Guide,* published under the terms of the linux documentation project, 2008. [Online]. Disponible en: <http://tldp.org/LDP/intro-linux/intro-linux.pdf>

- [4] A. Perpignan, *Administración de sistemas GNU/LINUX. Guía de estudio hacia una capacitación segura*, 2014. [online], Fundación Código Libre Dominicano. Disponible en: http://www.jesusda.com/docs/ebooks/ebook_administracion-gnu-linux.pdf
- [5] L. Greenfield, *G.L.U.P.- Guía de Linux para el usuario*, 1996. [online], 1996. Disponible en: http://www.ibiblio.org/pub/linux/docs/LDP/users-guide/translations/es/glup_0.6-1.11.pdf
- [6] T. Adelstein y B. Lubanovic, *Administración de sistemas Linux*. Ed. Anaya Multimedia, 2007.
- [7] E. Siever, *Linux in a nutshell: a desktop quick reference*, 4th Ed, O'Reilly & Associates, 2003.
- [8] G. Rodríguez, "Principales características y diagnóstico de los grupos patógenos de Escherichia coli", *Rev. Salud pública de México*, vol.44, no.5, pp. 464-475, 2002.
- [9] D.A. Caugant, B. R. Levin, G. Lidin, J. G. Whittam, C. S. Eden y R. K. Selander, "Genetic diversity and relationships among strains of Escherichia coli in the intestine and those causing urinary tract infections", *Prog. Allergy*, vol. 33, pp. 203-227, 1983.
- [10] F. C. Neidhardt, J. Ingraham, K. Low, B. Magasanik, M. Schaechter and H. Umberger, *Escherichia coli and Salmonella typhimurium: cellular and molecular biology*. Washington, D.C: American Society for Microbiology. EUA, 1987.
- [11] S. Valeria, A. Castillo, M. Rocha *et al.* "Ecología evolutiva de Escherichia coli." *INCI*, vol.26, no.10, pp.513-517., 2001.
- [12] J. D. Watson, T. A. Baker, S. P. Bell, A Gann, M, Levine y R. Losick, *La duplicación del DNA. Biología Molecular del Gen. (5ª Ed.)*, Madrid: Médica Panamericana, 2006.
- [13] A. L. Smith (Ed) *et al.* Oxford dictionary of biochemistry and molecular biology, Oxford [Oxfordshire]: Oxford University Press. Grisham, Charles M.; Reginald H. Garrett (1999). Biochemistry, Philadelphia: Saunders College, 1997.
- [14] C. B. Jiménez, *La Replicación*, [online], Departamento de Genética, U.C.M. 2008, Disponible en: <http://www.ucm.es/info/genetica/grupod/Replicacion/Replicacion.htm#Inicio>
- [15] R. Hernández, I. Velázquez, G. Solís, M Martínez y G. Santoyo¹, "Actividades hemolíticas en una biblioteca metagenómica de rizósfera de trigo (*Triticum aestivum* L.)". *Rev.DES Ciencias Biológico Agropecuarias*, vol. 12, pp. 28-32., 2010.
- [16] J. Franchin, *Comparaciones entre una Bacteria y un Sistema Operativo de Ordenador*. 2010. [online], Disponible en: <http://www.scitech-news.com/2010/05/yale-scientists-explain-why-computers.html>