UNIVERSIDAD DISTRITAL
FRANCISCO JOSÉ DE CALDAS

Revista Vínculos

https://revistas.udistrital.edu.co/index.php/vinculos/

A+T Actualidad Tecnológica

Propuestas de mejora DES y Triple DES a lo largo de su historia

DES and Triple DES improvement proposals throughout its history rebellion

Laura Ximena Ahumada-Urquijo [1], James Valencia-Ortiz [2],
María Fernanda Velandia-Beltrán [3], John Brayan Mendoza-Calderón [4]

Para citar este artículo: L. X. Ahumada-Urquijo, J. Valencia-Ortiz, M. F. Velandia-Beltrán, J. B. Mendoza-Calderón, "Propuestas de mejora DES y Triple DES a lo largo de su historia", Revista Vínculos, vol 19, no. 2, pp 127-155, 2022. https://doi.org/10.14483/2322939X.19224

Recibido: 21-03-2022 / Aprobado: 11-05-2022

Resumen: Las En el presente artículo se realiza un análisis profundo sobre la historia de DES y su sucesor Triple DES en el mercado de la seguridad y el cifrado de datos de manera segura. Se estudian las diferentes variaciones y mejoras que se han propuesto en materia investigativa en relación con los usos de Triple DES, incluso antes de su aprobación como estándar para el cifrado de datos a nivel mundial. Es importante destacar que las propuestas recolectadas y analizadas provienen de diferentes partes del mundo lo que solidifica el nivel de investigación realizado, debido a la variedad de fuentes encontradas.

De esta manera, se realiza un recorrido por la historia de este algoritmo para ofrecer al lector una amplia perspectiva respecto al funcionamiento y los diversos usos que se le han dado.

Finalmente, se logra determinar que DES y 3-DES han sido algoritmos ampliamente utilizados en el área de la seguridad informática, pero actualmente son

1 Ingeniería Telemática, Universidad Distrital Francisco José de Caldas, Colombia
2 Ingeniería Telemática, Universidad Distrital Francisco José de Caldas, Colombia
3 Ingeniería Telemática, Universidad Distrital Francisco José de Caldas, Colombia
4 Ingeniería Telemática, Universidad Distrital Francisco José de Caldas, Colombia

vulnerables a diferentes ataques como fuerza bruta y criptoanálisis diferencial, debido a esto se propone el uso de otro algoritmo como AES o la implementación de mejoras en DES y 3-DES.

Palabras clave: DES, Triple DES, Encriptación, Historia, Evolución, Propuestas de mejoras, Variaciones de DES y 3DES.

Abstract - This paper provides an in-depth analysis of the history of DES and its successor Triple DES in the security market and secure data encryption. The different variations and improvements that have been proposed in research related to the uses of Triple DES since before it was approved as a standard for data encryption worldwide are studied. It is also important to mention that the proposals collected and analyzed are from different parts of the world, which solidifies the level of research carried out, due to the variety of sources found.

In this way, the history of this algorithm is traced in order to provide the reader with a broad perspective on how it works and the different uses that have been made of it.

Finally, it's determined that DES and 3-DES have been algorithms widely used in security information systems, but currently they are vulnerable to different attacks such as brute force and differential cryptanalysis, because of this it is suggested the use of other algorithms, for instance AES, or to include improvements in the DES and 3-DES implementation.

Keywords: DES, Triple DES, Encryption, History, Evolution, Proposed improvements, Variations of DES and 3DES.

1. Introducción

Desde el año 1976 el algoritmo de cifrado Data Encryption Standard - DES fue definido como un estándar FIPS (Federal Information Processing Standards) en los Estados Unidos de América. Al año siguiente en 1977 fue publicado como FIPS PUB 46. Desde ese momento su uso se propagó por todo el mundo como un método para cifrar información y mantenerla segura durante los procesos de comunicación en diferentes actividades o transacciones. A pesar de ello desde sus inicios, fue refutado con el argumento de hacer uso de una clave de cifrado demasiado corta, lo que implicaría una vulnerabilidad potencial.

Después de alrededor de 20 años funcionando como unos de los estándares más robustos y utilizados para el cifrado de información, en la década de 1990 se

intensificaron los intentos por quebrar y vulnerar la seguridad de DES, ante lo cual los investigadores aumentaron sus esfuerzos por proponer alternativas para el cifrado de datos evitando que la información importante y sensible fuera violada. Fue en el año 1998 cuando las predicciones se hicieron realidad y el algoritmo DES con su clave de 56 bits fue roto mediante técnicas de búsqueda exhaustiva de clave. Allí surgió la necesidad de establecer 3DES como una variación de DES que brindaba una seguridad mayor y más robusta.

Frente a las diferentes propuestas realizadas por científicos e investigadores, se eligió 3DES por la gran aceptación y seguridad que tenía DES. Siguiendo su línea y su legado, 3DES hacía uso de un proceso similar, pero con un sistema de tres claves lo que aumentaba la complejidad de vulnerar el algoritmo. Triple DES consiste en replicar el algoritmo DES, tres veces haciendo uso de claves diferentes en cada uno de los pasos.

Este último algoritmo se ha mantenido estable desde esa fecha y ha competido en el mercado con otros algoritmos muy robustos como AES, Blowfish, Twofish y algunos otros, demostrando su robustez y alta aceptación. Es por ello que la documentación de la que se trata el siguiente apartado de este artículo, consiste en exponer diferentes análisis, estudios y propuestas que se han realizado en todo el mundo a lo largo de los años, entorno a estos dos algoritmos, especialmente, con base en 3DES cuya seguridad y complejidad es mucho mayor, y que aún es considerado un estándar avalado para el cifrado de datos.

2. DES y Triple DES

2.1 Un modo propuesto para el cifrado triple-DES

En el inicio de este recorrido se escogió un artículo publicado en el año 1996 por IBM Journal of Research and Development en [1]. Allí los autores Coppersmith, Johnson y Matyas proponen incluir una operación al algoritmo 3DES, en la cual, para cada uno de los 3 pasos de encriptación, se introducen valores secretos de enmascaramiento que finalmente se combinan con las salidas generadas en cada uno de los pasos antes de ingresar al siguiente. De esta manera se agrega un nivel de seguridad mayor al propuesto por DES y 3DES.

Esta propuesta surgió en respuesta a la necesidad de reemplazar el algoritmo DES, que hasta ese momento aún se encontraba vigente y avalado por NIST, pero con la latente posibilidad de ser vulnerable

ISSN 1794-211X • e-ISSN 2322-939X • Vol 19, N° 2 (julio-diciembre 2022).pp. 127-155. Universidad Distrital Francisco José de Caldas-Facultad Tecnológica.

debido a su corta clave de 56 bits, especialmente frente a ataques basados en la búsqueda exhaustiva de claves. A partir de este contexto, ya se había propuesto el algoritmo 3DES, sin embargo, aún no se contaba con el respaldo necesario para ser considerado como un algoritmo de encriptación oficial. Es por ello por lo que 3DES sirvió como base para la investigación y propuesta realizada por los autores en [1].

A pesar de la solidez encontrada en esta investigación, se llegó a la conclusión de que el nivel de complejidad agregado en esta variante del algoritmo 3DES es demasiado alto. Lo anterior implicaría un nivel de procesamiento mucho mayor en cada uso que se diera al algoritmo y por ello no fue seleccionado como sucesor de DES en el año 1998.

2.2 El algoritmo DES mejorado

En el año 1996, Seung-Jo Han, Heang-Soo Oh y Jongan Park proponen en [2] una mejora para el algoritmo DES, dado a que observaron que con el incremento de la capacidad de procesamiento del hardware existía una potencial brecha de seguridad al poder vulnerar la seguridad del algoritmo DES con métodos de criptoanálisis diferencial.

En el diseño del algoritmo Improved-DES se incluye lo siguiente: El texto plano que ingresa es de 96 bits, dividido en 3 bloques de 32 bits cada uno, estos bloques se operarán en parejas en cada ronda, y se rotarán de manera que en cada ronda se intercambien las parejas, como ilustra en el diagrama de la Figura 1.

Las S-Boxes usadas en las funciones de cada ronda se amplían a 16. En cada ronda se emplearán dos funciones, una aplicada al lado izquierdo y otra al derecho, como se observa en la Figura 1.

Con estos cambios realizados, se llevaron a cabo una serie de pruebas en las cuales midió el efecto avalancha del algoritmo con la medición de la correlación entre los bits de entrada y salida, así como la dispersión de los bits de salida al modificar un bit de entrada. Esta medición se realizó para cada una de las S-Box tanto del algoritmo DES como del propuesto Improved-DES.

Finalmente, los autores concluyen, que al haber agregado 8 S-Boxes, para un total de 16 y al crear los 3 bloques de información que utilizan 2 funciones diferentes en cada ronda, se logró obtener un algoritmo con mayor robustez y un mejor efecto avalancha. Esto permite que la cantidad de datos necesarios para realizar un ataque de criptografía diferencial aumente el valor de $2^{62.96}$ a diferencia de los 2^{47} del algoritmo

ISSN 1794-211X • e-ISSN 2322-939X • Vol 19, N° 2 (julio-diciembre 2022). pp. 127-155. Universidad Distrital Francisco José de Caldas-Facultad Tecnológica.

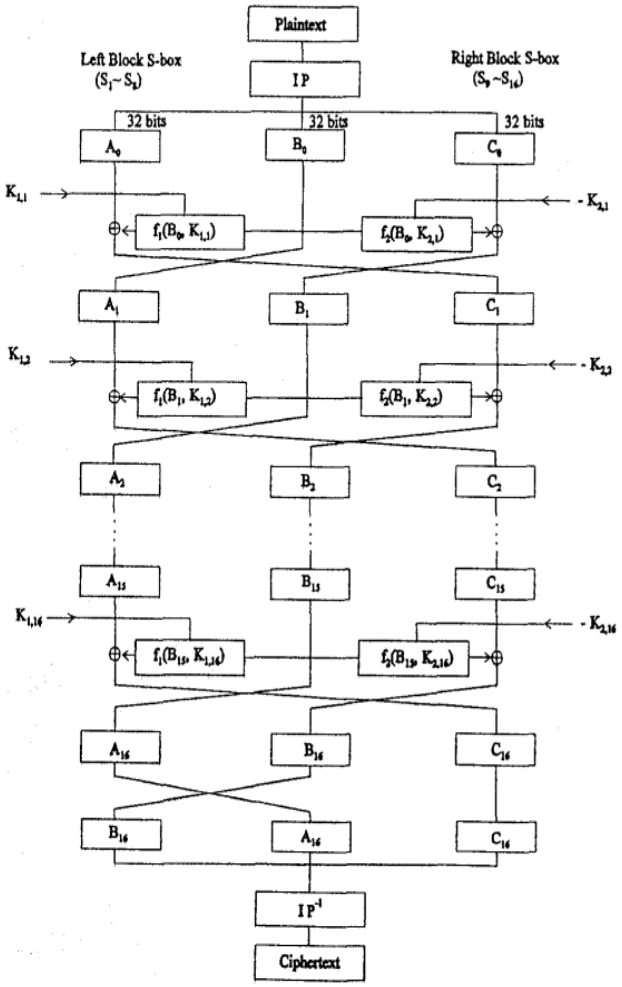
DES convencional, lo cual lo hace mucho más difícil de vulnerar.

2.3 Reducción de la búsqueda exhaustiva de claves del estándar de cifrado de datos (DES)

Posteriormente en [4] cuya investigación fue publicada en el año 2007 por la revista Computer Standards & Interfaces, se analiza la vulnerabilidad hallada en DES en años anteriores. En este artículo, Raphael Phan de Swinburne University of Technology, plantea una optimización en los procesos de explotación del algoritmo DES mediante la búsqueda exhaustiva de claves.

El análisis realizado por el autor se elaboró con base en la alta usabilidad que tenía el algoritmo DES en el mercado, a pesar de

Figura 1. Algoritmo del modelo Improved-DES [1].



ISSN 1794-211X • e-ISSN 2322-939X • Vol 19, N° 2 (julio-diciembre 2022).pp. 127-155. Universidad Distrital Francisco José de Caldas-Facultad Tecnológica.

existir otras posibilidades como 3DES y AES. A partir de este contexto y teniendo como punto de referencia la vulnerabilidad hallada en DES. El autor propone que hasta el momento en el que él inicia su investigación, la debilidad explotada de DES era solo una, proveniente de la búsqueda exhaustiva de claves, además, señala que esta debilidad aún requería una gran capacidad de procesamiento computacional para ser efectiva y quebrar la seguridad del algoritmo, incluso tardaba alrededor de 24 horas.

Considerando este análisis, el autor propone una solución para explotar las debilidades de DES, reduciendo el tiempo y la capacidad de procesamiento requeridos, de esta manera se mejora el rendimiento de la búsqueda exhaustiva de claves en DES.

Para la propuesta realizada, el autor hace uso de técnicas matemáticas mediante las cuales optimiza el algoritmo de búsqueda exhaustiva de claves, aprovechando las llaves de paridad de DES. Con este hallazgo se concluye que los procesos de explotación de vulnerabilidades del algoritmo DES se podrían optimizar. De esta manera el autor ratifica la necesidad de remover el algoritmo DES del mercado y usar su sucesores o variantes como 3DES y AES.

De acuerdo con los planteamientos e intenciones del autor, respaldamos los esfuerzos realizados, a pesar de haberse encontrado debilidades en el algoritmo DES, en ese momento aún era usado en muchas partes del mundo como estándar para el cifrado de datos. De esta manera el autor contribuyó al proceso de migración del algoritmo DES a 3DES y AES, cuya seguridad era mucho más robusta, y daba un mayor nivel de seguridad para la protección de información en diferentes ámbitos.

2.4 Implementación y Análisis de AES, DES y Triple DES sobre Red GSM

En el año 2010 se publicó [5] por Majithia Sachin y Dinesh Kumar en el Departamento de Tecnología de la Información, DAVIET, Jalandhar en el marco de la Revista internacional de informática y seguridad de redes. En este artículo se propone un cifrado adicional para la tecnología GSM (Sistema Global para Comunicaciones Móviles) mediante la implementación de algoritmos como AES, DES y 3DES ya que los algoritmos criptográficos utilizados anteriormente habían estado expuestos a ataques y habían sido descifrados previamente. El cifrado adicional tiene como objetivo garantizar la confidencialidad suficiente.

ISSN 1794-211X • e-ISSN 2322-939X • Vol 19, N° 2 (julio-diciembre 2022). pp. 127-155. Universidad Distrital Francisco José de Caldas-Facultad Tecnológica.

Los autores comparan el cambio en el rendimiento de la seguridad mediante el uso de diferentes longitudes de clave para los algoritmos de cifrado. Se presentan gráficos que muestran los tiempos necesarios para encontrar la clave correcta al jugar con diferentes longitudes de clave. A continuación se presentan algunos escenarios en los que se aumenta la longitud de la clave como se evidencia en las Figuras 2, 3 y 4.

Aunque en el artículo de referencia se toman más muestras aumentando en número de bits, con lo anterior se puede evidenciar claramente que AES supera a sus contrincantes en todos los escenarios. Mientras mayor sea la longitud de la clave,

Figura 2. Número de segundos necesarios con una longitud de clave de 8 bits [5].

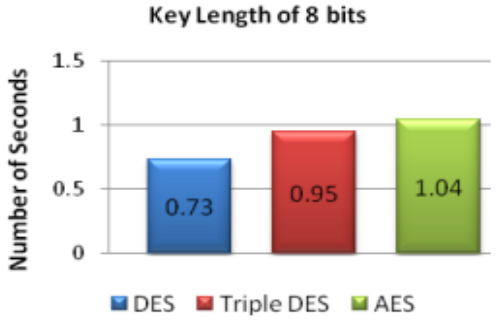


Figura 3. Número de segundos necesarios con una longitud de clave de 32 bits [5].

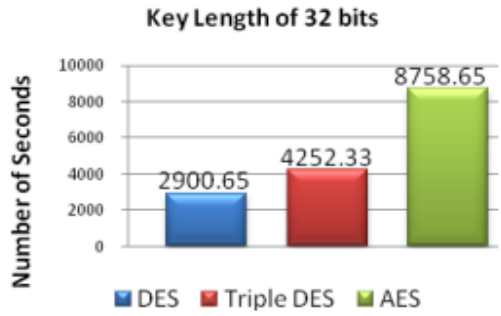
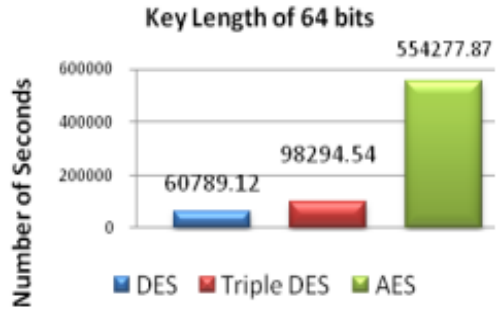


Figura 4. Número de segundos necesarios con una longitud de clave de 64 bits [5].



ISSN 1794-211X • e-ISSN 2322-939X • Vol 19, N° 2 (julio-diciembre 2022).pp. 127-155. Universidad Distrital Francisco José de Caldas-Facultad Tecnológica.

mayor será la distancia de diferencia en segundos con respecto a DES y 3DES. También se analiza la efectividad de los algoritmos mencionados contra ataques de fuerza bruta implementados en un entorno de desarrollo como MATLAB Y JAVA. Como resultado se concluye que AES proporcionó una mejor seguridad contra estos ataques, en consecuencia se propone AES como un algoritmo de cifrado estándar para GSM.

2.5 Implementación y análisis de varios criptosistemas simétricos

En el año 2010 se publicó [6] un trabajo realizado por Himani Agrawal y Monisha Sharma en la Revista India de Ciencia y Tecnología, en este artículo se implementa los algoritmos de cifrado simétrico DES y el estándar de cifrado de datos triple 3DES, así como, el estándar de cifrado avanzado AES, BLOWFISH y RC4 en el software MATLAB y son comparados en algunos puntos.

Estos puntos son el efecto de avalancha debido a la variación de un bit en el texto sin formato que mantiene constante la clave, así como el efecto de avalancha debido originado por la variación de un bit en la clave, manteniendo constante el texto sin formato, la memoria requerida para la implementación y el tiempo de simulación necesario para diferentes longitudes de mensaje.

Con lo anterior se logra identificar que en 3DES, la memoria necesaria para la implementación es la más alta, lo que indica que es el algoritmo más lento. Este constituye el principal inconveniente de 3DES. Aunque diversas aplicaciones basadas en Internet han adoptado el triple DES, debido a varios inconvenientes, no se presenta como un candidato razonable para el uso a largo plazo.

También se deduce que en AES el efecto de avalancha es más alto. AES está siendo considerado como un reemplazo para DES, siendo ideal para cifrar mensajes enviados entre objetos a través de canales de chat y útil para objetos que forman parte de un juego o cualquier situación que implique transacciones monetarias.

2.6 Implementación 3DES basado en FPGA

Continuamos en el año 2010 donde se publicó [7] un artículo por Fang Ren, Leihua Chen, y Tao Zhang en la revista internacional de informática y seguridad de redes del Centro de Servicios de Ciencia y Tecnología Meteorológica Servicio Meteorológico de Shanxi, China. En este escrito se expone que los algoritmos de cifrado de bloques como DES, 3DES y AES pueden implementarse tanto en software como en hardware, los cifrados de software cumplen la función de cifrado al ejecutar el software correspondiente en un equipo.

ISSN 1794-211X • e-ISSN 2322-939X • Vol 19, N° 2 (julio-diciembre 2022). pp. 127-155. Universidad Distrital Francisco José de Caldas-Facultad Tecnológica.

Además de ocupar recursos del host, el artículo también menciona que los cifrados de software se computan más lento y tienen menor seguridad que los cifrados de hardware, y que en algunas ocasiones exige una transmisión de datos de alta velocidad.

El cifrado de hardware, por otro lado, realiza la función de cifrado mediante un dispositivo de cifrado independiente del sistema del equipo, toda la memoria y el cálculo de los datos clave se llevn a cabo internamente mediante hardware, no ocupa recursos del host, computa más rápido, tiene mayor seguridad, estabilidad y compatibilidad. 3DES garantiza su seguridad al mejorar la complejidad del algoritmo mientras mantiene el sistema original sin grandes modificaciones porque se basa en el algoritmo DES en la capa base. Sin embargo, su defecto básico es la lentitud del cifrado de software, que a menudo implica operaciones de bits como transposición, cambio de posición, OR exclusivo, etc.

2.7 Cifrado y descifrado de datos mediante triple DES y análisis de rendimiento del sistema criptográfico

En el año 2014 fue publicado [8] por International Journal of Scientific Engineering and Research (IJSER) escrito por Karthik y Muruganandam. en el que se observa un proceso de investigación comparativo cuyo objetivo es exponer una técnica creada para el cifrado de un mensaje secreto por medio de un cifrado de bloques basado en dos algoritmos criptográficos, denominada comunicación secreta expuesta. Para la investigación, los autores hacen uso de los cinco objetivos de la criptografía que permiten mantener el secreto protegido, es decir:

Autenticación: validar y verificar la identidad del receptor y del emisor.

Secreto o confidencialidad: no revelación de información a personas no autorizadas.

Integridad: la información no sufre modificación ni por el emisor ni por el receptor.

No repudio: ni el emisor ni el receptor pueden negar falsamente que hayan enviado un determinado mensaje.

Fiabilidad y disponibilidad del servicio: en cualquier instante de tiempo se puede tener acceso a la información.

Los autores desarrollaron un software utilizando el framework .NET llamado Cryptograph.NET. Mediante este sistema se realiza un análisis previo sobre el rendimiento de diferentes algoritmos. Adicionalmente, los autores hacen uso de resultados obtenidos en fuentes de información externas para complementar su investigación. A partir del proceso

ISSN 1794-211X • e-ISSN 2322-939X • Vol 19, N° 2 (julio-diciembre 2022).pp. 127-155. Universidad Distrital Francisco José de Caldas-Facultad Tecnológica.

analítico realizado a los algoritmos; DES, 3DES, AES, Rijndael, BF y Blowfish, fue posible concluir que AES supera a sus homólogos en dos frentes; el número de solicitudes procesadas por segundo y el tiempo de respuesta de diferentes solicitudes de usuario. De igual manera, se concluye que Blowfish ofrece un rendimiento óptimo respecto a sus competidores. Y finalmente que el rendimiento de 3DES mejora con Modo de Libro de Códigos Electrónica (ECB) y Encadenamiento de Bloques de Cifrado (CBC) respecto a otros algoritmos.

En el marco de la investigación realizada, es importante recalcar su relevancia en los diferentes mercados internacionales que hacen uso de estos algoritmos en sus procesos. Esto se debe a la comparación expuesta en el documento, que permite al lector obtener sus propias conclusiones frente al funcionamiento de los diferentes algoritmos que operan alrededor del mundo, y seleccionar el de su preferencia teniendo en cuenta todas las características analizadas.

2.8 El diseño e implementación de un algoritmo de cifrado simétrico basado en DES

También en el año 2014 fue publicado [9] por LI Yongzhen y Zhou Ying Bing en el marco del Departamento de Informática y Tecnología de la universidad de Yanbian. en este artículo se ratifica que DES ha mantenido su posición dominante en el área del cifrado de datos durante las últimas décadas. Sin embargo, en el campo del hardware informático ya ha demostrado ser inseguro. Lleva poco tiempo traducir el texto cifrado a su texto sin formato correspondiente utilizando el método de fuerza bruta a un costo razonable. Esto se debe principalmente al pequeño tamaño de clave DES empleada.

Ante estos problemas, el objetivo de este artículo es sugerir una alternativa en DES para obtener mayor seguridad y mejor eficiencia de ejecución aumentando el tamaño de la clave y actualizando la técnica de iteración. Se realizaron comparaciones con DES y 3DES. Los resultados han demostrado que el algoritmo propuesto supera a los dos algoritmos anteriores.

Este documento analizó la debilidad existente en DES y propuso dos nuevos métodos que operaron simultáneamente con dos procesos DES únicos. El primer método intercambió los resultados de la ronda, lo que agregó confusión al texto cifrado; el segundo método alternó la subclave entre las dos partes para obtener el efecto de emplear una longitud de clave duplicada (112 bits) para cifrar un bloque de 64 bits.

ISSN 1794-211X • e-ISSN 2322-939X • Vol 19, N° 2 (julio-diciembre 2022). pp. 127-155. Universidad Distrital Francisco José de Caldas-Facultad Tecnológica.

Los resultados de la simulación indicaron que, en términos de eficiencia operativa, los nuevos métodos superaron claramente a 3DES y se mantuvieron al mismo nivel que DES. Con respecto a la seguridad, los nuevos métodos proporcionan un rendimiento más seguro que DES y al menos tan seguro como 3DES.

2.9 Análisis de rendimiento de DES+9 y Triple DES

El artículo publicado [10] por el Dr. O. Srinivasa Rao en el año 2015 dentro del marco de la Revista internacional de aplicaciones informáticas en la Facultad de Ingeniería de la Universidad de Kakinada, se analizan los algoritmos DES y 3DES como algoritmos de cifrado simétrico altamente utilizados comparándolos en términos de cálculo de tiempo de cifrado y descifrado de datos.

En primera instancia, con respecto a DES, se explica que se definen dos entradas para la función de cifrado: el texto sin formato que se va a cifrar y la clave respectiva, para ello el texto sin formato debe tener una longitud de 64 bits y la clave debe tener una longitud de 56 bits, como se puede apreciar en la figura 5.

En el lado izquierdo de la figura, podemos ver que el procesamiento del texto sin formato se desarrolla en tres fases. Primero, el texto sin formato de 64 bits pasa a través de una permutación inicial (IP) que reorganiza los bits para producir la entrada permutada. A esto le sigue una fase que consta de dieciséis rondas de la misma función, que involucra tanto funciones de permutación como de sustitución. La salida de la última ronda (decimosexta) consta de 64 bits que son una función del texto sin formato de entrada y la clave. Las mitades izquierda y derecha de la salida se intercambian para producir la salida previa. Finalmente, la salida previa se pasa a través de una permutación que es la inversa de la función de permutación inicial, para producir el texto cifrado de 64 bits. De esta manera se expone cómo funciona el algoritmo hasta este entonces.

En cuanto a 3DES, se desarrolló para abordar las fallas en DES sin diseñar un criptosistema completamente nuevo. DES como ya sabemos, utiliza una clave de 56 bits y no se considera suficiente para cifrar

ISSN 1794-211X • e-ISSN 2322-939X • Vol 19, N° 2 (julio-diciembre 2022).pp. 127-155. Universidad Distrital Francisco José de Caldas-Facultad Tecnológica.

datos confidenciales. 3DES simplemente amplía el tamaño de la clave de DES aplicando el algoritmo tres veces seguidas con tres claves diferentes, como se puede evidenciar en la Figura 6.

Figura 5. Representación general del funcionamiento del algoritmo DES [10].

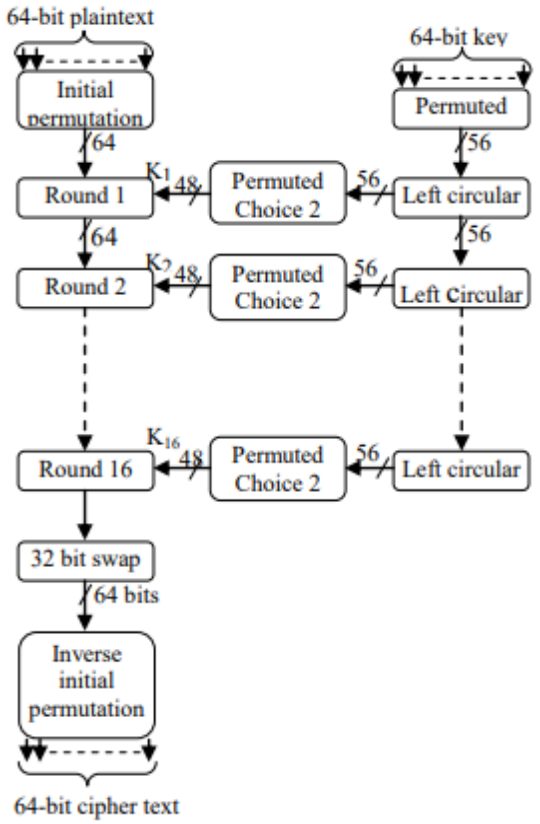
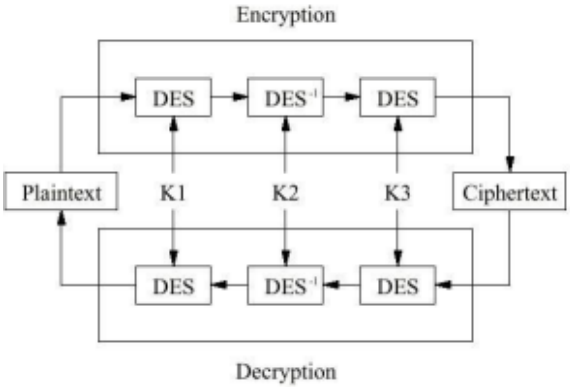


Figura 6. Representación general del funcionamiento del algoritmo 3DES [10].



ISSN 1794-211X • e-ISSN 2322-939X • Vol 19, N° 2 (julio-diciembre 2022). pp. 127-155. Universidad Distrital Francisco José de Caldas-Facultad Tecnológica.

Al final se concluye que el algoritmo 3DES resulta ser el más eficiente en términos de efecto avalancha, aunque consume más recursos, y en los dos algoritmos el tiempo de cifrado resulta ser mayor al tiempo de descifrado.

3. Una evaluación exhaustiva de los algoritmos criptográficos: DES, 3DES, AES, RSA y Blowfish

Continuando con la línea comparativa, en el año 2015 se publicó [11] en Procedia Computer Science, cuyos autores son Priyadarshini, Prashant, Narayan y Meena. En esta investigación los autores exponen la necesidad del público de escoger un algoritmo criptográfico que sea de bajo coste y alto rendimiento. Al ser dos características difíciles de combinar, se someten los algoritmos; DES, 3DES, AES, RSA y Blowfish a pruebas exhaustivas que permitan presentar una comparación mostrando fortalezas y debilidades de cada uno, de tal manera que el público pueda escoger con mayor certeza el algoritmo que desea usar según sus necesidades.

Para ello, primero es importante definir cada uno de los algoritmos que fueron usados en esta investigación, esta definición se puede encontrar en la tabla 1.

En el artículo se desarrolla un software en lenguaje Java con el IDE eclipse, y específicamente los paquetes Crypto y Java Security. Los aspectos usados para la comparación fueron: tiempo de cifrado, tiempo descifrado, memoria en uso, efecto avalancha, entropía y número de bits requeridos para codificar de manera óptima. Así los autores ofrecen una comparativa al lector en la que muestran cuales son las fortalezas y debilidades de cada algoritmo, permitiendo al lector seleccionar el que mejor se acopla a sus necesidades.

3.1 Implementación de alto rendimiento del algoritmo DES en FPGA

Debido a la corta longitud de llave y de bloque de texto plano del algoritmo DES, que permite un uso de memoria bajo, en el año 2015 Murtada. M. Abdelwahab propone un algoritmo DES simplificado en [13] para aplicar en tarjetas programables FPGA.

Para realizarlo, el autor señala que se hace uso únicamente de una ronda para encriptar el mensaje, y la encriptación se realiza mediante una operación XOR entre el texto y la llave. El algoritmo de encriptación es el siguiente:

- Generar una llave de 64 bits y dividirla en dos mitades de 32 bits mediante una permutación.

ISSN 1794-211X • e-ISSN 2322-939X • Vol 19, N° 2 (julio-diciembre 2022).pp. 127-155. Universidad Distrital Francisco José de Caldas-Facultad Tecnológica.

- La mitad izquierda sufre una rotación de bits a la izquierda una posición.
- La mitad derecha experimenta una rotación de bits a la derecha una posición.
- Mediante otra permutación se juntan las mitades para tener una llave de 64 bits nuevamente.
- El texto a cifrar ingresa como una cadena de 64 bits.
- El texto se divide en dos mitades de 32 bits.
- Cada mitad del texto se opera con la llave mediante una operación XOR.
- Cada mitad cifrada se une para tener el texto cifrado completo de 64 bits.
- El texto cifrado se pasa a través de una operación de permutación y combinación final para entregar el resultado.

Tabla 1. Definición de diferentes algoritmos de cifrado.

Algoritmo	Definición
DES	El Estándar de Cifrado de Datos es un cifrado de bloques de clave simétrica. El DES fue creado en 1972 por IBM utilizando el algoritmo de encriptación de datos. Fue adoptado por el gobierno de Estados Unidos como algoritmo de cifrado estándar. Es vulnerable a los ataques de clave cuando se utiliza una débil.
3DES	Algoritmo de Cifrado de Datos Triple, que es un cifrado de bloques. El estándar de cifrado de datos triple se publicó por primera vez en 1998 y recibe su nombre porque aplica el cifrado DES tres veces a cada bloque de datos, cifrado - descifrado - cifrado utilizando DES.
AES	El algoritmo Advance Encryption Standard fue desarrollado en 1998 por Joan Daemen y Vincent Rijmen, este algoritmo permite una combinación de longitud de datos y clave de 128, 192 y 256 bits, es cifrado por bloques de clave simétrica.
Blowfish	Blowfish es un cifrado simétrico por bloques que puede utilizarse como sustituto informal de DES o IDEA. Blowfish fue diseñado por Bruce Schneier como una alternativa rápida y gratuita a los algoritmos de cifrado existentes.
RSA	RSA fue creado en 1977, es un algoritmo de clave pública y tiene un tamaño de clave de 1024 a 4096 bits. Consta de tres pasos: el primero es la generación de clave para cifrar y describirá, el segundo es donde se cifra el mensaje y el tercero es el descifrado.

ISSN 1794-211X • e-ISSN 2322-939X • Vol 19, N° 2 (julio-diciembre 2022). pp. 127-155. Universidad Distrital Francisco José de Caldas-Facultad Tecnológica.

El autor concluye que con el diseño propuesto fue posible tener un rendimiento de 278.282 Mbps, lo cual es un rendimiento competitivo teniendo en cuenta otras implementaciones de DES enfocadas a su uso en tarjetas FPGA.

3.2 Implementación CUDA del algoritmo DES para plataformas ligeras

En el año 2017 se publicó [14] en la revista ACM International Conference Proceeding. El autor, haciendo referencia al nacimiento del internet de las cosas, propone como alternativa de seguridad, la implementación de DES en el procesador CUDA, el cual a su vez aprovecha la potencia de las GPUs. Él explica que las GPUs tiene mayor accesibilidad gracias a que utiliza arquitectura SIMD para ejecutar múltiples hilos simultáneamente, lo que facilita el acceso a registros, memoria local, memoria compartida y memoria global. Además, estas unidades tienen una gran capacidad para realizar cálculos lo que permite que las aplicaciones ejecutadas funcionen a una velocidad superior. El autor sostiene que, al implementar DES en CUDA, las tablas y contraseña se definen en la zona de memoria y aumenta el rendimiento porque es posible acceder a los datos con eficiencia y recuperarlos del caché a gran velocidad. El único inconveniente, señala el autor, resulta cuando los hilos del bloque son menores de 32 porque el Warp no funciona correctamente, en otras palabras, la propuesta es útil para procesar gran cantidad de datos al mismo tiempo.

3.3 Análisis de los mecanismos de encriptación para la seguridad de la información en redes de comunicaciones

La revista SATHIRI publicó [15], en el mismo año, un artículo en donde los autores realizan una comparativa profunda entre diferentes algoritmos de encriptación de datos. Para ello, recurrieron a varias herramientas de código abierto como OpenSSL, TrueCrypt y DiskCryptor para analizar la velocidad del proceso cifrado-descifrado a través de un benchmark cambiando el tamaño del bloque y de la clave. En OpenSSL se puso a prueba los algoritmos RC4, DES, IDEA, AES y Blowfish en cuanto a velocidad en dos modos de operación CBC y IGE, en TrueCrypt y DiskCryptor se evaluaron los algoritmos AES, Twofish y Serpent.

Se demostró que en cuanto a velocidad se refiere, RC4 es la mejor opción, pero es muy vulnerable a ataques y poco práctico. Respecto a robustez, AES es muy seguro a pesar de su vulnerabilidad porque “secret” funciona con una longitud de clave de 128 bits; y, “Top Secret”, con claves de 192 o 256 bits; en el análisis del rendimiento y tamaño de la clave, resulta más eficiente ECC en los dos parámetros; en el tamaño de

ISSN 1794-211X • e-ISSN 2322-939X • Vol 19, N° 2 (julio-diciembre 2022).pp. 127-155. Universidad Distrital Francisco José de Caldas-Facultad Tecnológica.

textos encriptados y tiempo necesario para romper la clave, ganó ECC que ocupa menos ancho de banda porque su tamaño del texto es inferior; y por último, midiendo la complejidad ciclomática, RSA es más compleja en el cifrado y descifrado.

3.4 Modelo de seguridad en computación Cloud combinando el algoritmo DES y Bit Menos Significativo (LSB)

Para el año 2018 ya era conocido el hecho de que el algoritmo DES podía ser vulnerable a ataques como Man In The Middle o Fuerza Bruta, es por esto que M Basri, H Mawengkang y E. M. Zamzami proponen en [16] un anillo de seguridad adicional haciendo uso de la esteganografía. De esta forma, se emplea una imagen para ocultar el mensaje encriptado.

El método de encriptación DES toma segmentos de 64 bits del mensaje y, mediante una llave de 64 bits, genera segmentos encriptados también de 64 bits. En este proceso se crean 8 bloques cifrados que al final se combinan en uno solo de 64 bits, en este punto el último bloque de 8 bits será el que se ocultará en la imagen mediante el algoritmo LSB.

Para poder ocultar el mensaje en la imagen, se aprovecha el hecho de que cada pixel de una imagen se representa mediante 3 grupos de 8 bits, correspondientes a los colores base Rojo, Verde y Azul (RGB), de esta forma se usará el bit menos significativo de cada color para ocultar progresivamente el mensaje encriptado.

Para desencriptar se realiza el proceso inverso: se buscan los bits menos significativos de cada color de la imagen para ir recopilando el mensaje encriptado y en seguida se sigue el proceso de desencriptación DES usual.

Este artículo demuestra la necesidad de mejorar los mecanismos de seguridad del algoritmo DES y la latente preocupación por ser víctima de ataques informáticos que violen su seguridad.

3.5 Triple DES: Preservación de la privacidad en la salud con Big Data

En el año 2018 fue publicado [17] por Science+Business Media un estudio que profundiza en el uso de materia de 3DES en el sector de la salud y con técnicas de Big Data para la recolección de información. Se observa en esta investigación como los autores usan 3DES para preservar la privacidad de la información recolectada.

Los autores realizan un detallado análisis de la actualidad de las técnicas de Big Data utilizadas en el sector de la salud y la medicina, destacando la falta de seguridad en la información recolectada como una de las principales conclusiones.

ISSN 1794-211X • e-ISSN 2322-939X • Vol 19, N° 2 (julio-diciembre 2022). pp. 127-155. Universidad Distrital Francisco José de Caldas-Facultad Tecnológica.

En el artículo se propone una solución alternativa que hace uso de 3DES, pero con una pequeña variación que implica la anonimización en el proceso de cifrado que desarrolla 3DES. Este nuevo algoritmo denominado A3DES se aplica a los procesos de recolección de información mediante técnicas de Big Data en temas relacionados con la salud y la medicina.

3.6 Un enfoque de seguridad para el sistema de gestión de archivos mediante el cifrado de datos algoritmo estándar (DES)

En 2019, los autores presentaron [20] en la International Journal of Advanced Trends in Computer Science and Engineering un estudio en el cual analizaron el funcionamiento del algoritmo DES y su relación con el ciclo de vida del sistema, específicamente, el rápido desarrollo de aplicaciones en términos de recopilación de datos, análisis de costes, requisitos, identificación de los métodos usados en diseños, pruebas, despliegue y mantenimiento del sistema.

Los autores recopilaron los resultados derivados del análisis experimental de pruebas en componentes de hardware y software y unidades del sistema de integración y aceptación. Destacaron la eficacia de DES en su época en cuanto a complejidad y latencia temporal en lo que respecta a la conectividad de red, sistema y servidores físicos y web. Se encontró que DES es seguro en todos los parámetros evaluados, ein embargo, los autores sugieren que el uso de un sistema de archivos basado en la informática de gestión es necesario para evitar pérdidas de información.

3.7 Algoritmo DES modificado para mejorar el rendimiento ante errores y mejorar la seguridad para entornos inalámbricos

La comunicación inalámbrica ha experimentado un notable crecimiento gracias a los avances en las redes de telecomunicación, sin embargo, al ser un canal abierto puede ser susceptible a ataques informáticos. Los algoritmos de encriptación como DES se basan en el efecto avalancha, el cual garantiza que un solo cambio en un bit del texto plano produzca un cambio significativo en el texto cifrado y viceversa, de esta manera se evita tener una correlación evidente entre los textos planos y cifrados.

Si bien el efecto avalancha es deseable en los algoritmos de encriptación simétricos, puede generar problemas puede generar problemas en una comunicación inalámbrica debido a posibles fallos por interferencias y ruidos. Estos fallos podrían resultar en la incorrecta desencriptación de la información.

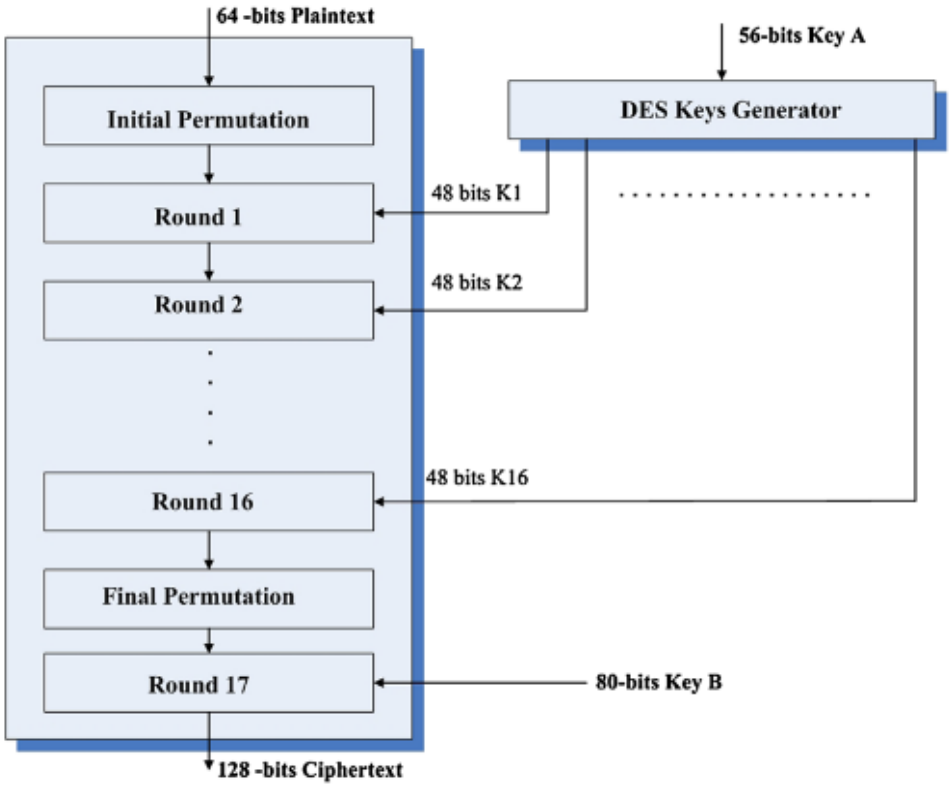
ISSN 1794-211X • e-ISSN 2322-939X • Vol 19, N° 2 (julio-diciembre 2022).pp. 127-155. Universidad Distrital Francisco José de Caldas-Facultad Tecnológica.

En [21] los autores proponen un algoritmo DES Modificado (M-DES) que busca mitigar el efecto avalancha y mejorar la seguridad para su uso en la transmisión de información a través de medios inalámbricos. La propuesta implica cambios en las S-Boxes y la adición de una ronda adicional al algoritmo. La arquitectura se muestra en la figura 7.

Los autores realizan principalmente dos cambios al algoritmo DES: el primero, consiste en que las S-Boxes uno a cuatro, tendrán la tabla de mapeo de la primera S-Box de DES, y las S-Boxes cinco a ocho tendrán la tabla de mapeo de la segunda S-Box de DES. En el algoritmo DES Original cada S-Box tiene un mapa diferente, en M-DES son solo 2 tablas de mapeo; el segundo cambio consiste en agregar una ronda 17 al final del algoritmo, la cual recibe la salida encriptada de las 16 rondas y la permutación final, junto con una llave de 80 bits, que permitirá convertir la salida de 64 bits en una salida de 128 bits.

Con el nuevo algoritmo prueban el Bit Error Rate (BER) mostrando que es mucho menor que DES, asimismo realizan pruebas de seguridad, demostrando que para un

Figura 7. Arquitectura algoritmo M-DES [21].



ISSN 1794-211X • e-ISSN 2322-939X • Vol 19, N° 2 (julio-diciembre 2022). pp. 127-155. Universidad Distrital Francisco José de Caldas-Facultad Tecnológica.

ataque de fuerza bruta es necesario 2^{136} intentos, mientras que para un ataque de criptoanálisis diferencial serían necesarios 2^{47} parejas de datos.

Esta información permite concluir que el algoritmo DES Modificado (M-DES) propuesto brinda un mejor comportamiento en ambiente de comunicación inalámbrica, puesto que disminuye el efecto avalancha dando una mayor robustez frente a los posibles errores de pérdida de bits y además mejora la seguridad del algoritmo original, haciendo casi imposible con los recursos actuales en computación de ser descifrado.

3.8 Implementación de la lotería de IoT en el estándar de cifrado de datos

En 2020, la International Journal of Scientific Engineering and Research presentó al público [24]. En este artículo, los autores hacen un estudio respecto a los dispositivos IoT para vulnerar la seguridad del DES dado su uso como herramientas de ataque. Presentan resultados de Brute-force attack contra DES demostrando que un clúster de 200 dispositivos IoT es capaz de encontrar la clave en una media de 350 segundos y un clúster de 2000 dispositivos IoT lograr encontrar la clave en 0,015 segundos. Para llegar a tales resultados, se realizó una prueba llamada IoT Lotto que consiste en sincronizar todos los dispositivos IoT para que trabajen en paralelo con comunicación rápida entre módulos y usando la arquitectura de computación distribuida en la delegación de subtarea a cada dispositivo IoT participante, el resultado: un ataque contundente y rápido al DES. Entre más dispositivos IoT más eficiente es, lo suficientemente bueno como para vulnerar AES Y Triple DES.

A medida que avanzan, se solidifican y robustecen los algoritmos de encriptación, de la misma manera, los ataques cibernéticos también evolucionan. Cuanta más información sensible y confidencial este presente en internet, mayores son las probabilidades de que sea robada, ya que esta información resulta valiosa para los hackers.

3.9 Una optimización eficiente y segura del algoritmo 3-DES usando un algoritmo mejorado de creación de llaves

Para el año 2020 se conocía que el algoritmo 3-DES preentaba potenciales fallos de seguridad, debido a que la clave de 192 bits, dividida en 3 de 64 bits podía ser vulnerable a ataques de fuerza bruta. Es por ello que Akshitha Vuppala, R Sai Roshan, Shaik Nawaz y JVR Ravindra en [25] publican el algoritmo FORTIS mediante el cual se refuerza el método para la generación de llaves.

ISSN 1794-211X • e-ISSN 2322-939X • Vol 19, N° 2 (julio-diciembre 2022).pp. 127-155. Universidad Distrital Francisco José de Caldas-Facultad Tecnológica.

El algoritmo se compone de la siguiente manera, inicialmente la llave principal de 64 bits es entregada al Permuted Choice 1, el cual la convierte en una llave de 56 bits truncando 8 bits de paridad, posteriormente, esta llave se divide en dos partes de 28 bits cada una, denominadas C y D. La parte C permanece sin modificaciones, pero la parte D se modifica mediante el Comparator, el cual compara C y D bit a bit, si ambos bits son iguales asigna un cero lógico y si son distintos asigna un 1 lógico, creando así la llave denominada X. A continuación, la parte C ingresa al Versatile Right Shifter y la parte X ingresa al Versatile Left Shifter.

Cada uno de estos shifter tienen como objetivo realizar una rotación circular a izquierda o derecha según el shifter elegido. Esta rotación se basa en los bits lógicos de X, si es un cero se mueve una posición, y si es un 1 se mueve dos posiciones. En la figura 8 se muestra el pseudocódigo propuesto por los autores.

Los autores llevaron a cabo simulaciones en las cuales graficaban las trazas de

Figura 8. Pseudocódigo del algoritmo FORTIS [25].

Algorithm 1 FORTIS Algorithm

```
Let number of inputs be [0:63]
The 64 bits are reduced to 56 bits by removing the 8 parity bits
56 bits are divided into blocks C and D
C is directly taken as input of versatile right shifter
while bits ≤ 27 do
   if C[bits] = D[bits] then
      X[bits]=0
   else
      X[bits]=1
   end if
end while
The 28 bits of X are given as inputs to versatile left shifter
if C[0] = 0 then
   Bits of C are shifted towards right by one position
else
   if C[0] = 1 then
      Bits of C are shifted towards right by two positions.
   end if
end if
if X[0] = 0 then
   Bits of X are shifted towards left by one position
else
   if X[0] = 1 then
      Bits of X are shifted towards left by two positions.
   end if
end if
The two blocks are concatenated and given as inputs to PC-2
PC-2 reduces 56 bits to 48 bits
The process is repeated for 16 rounds to generate 16 sub keys.
```


ISSN 1794-211X • e-ISSN 2322-939X • Vol 19, N° 2 (julio-diciembre 2022). pp. 127-155. Universidad Distrital Francisco José de Caldas-Facultad Tecnológica.

potencia del algoritmo, en estas gráficas se pueden observar picos en los momentos en los cuales el algoritmo debe realizar operaciones costosas a nivel de computación, lo cual, según el artículo puede ser útil para un atacante al intentar deducir las llaves de la encriptación. Sin embargo, se mostró que utilizando el algoritmo FORTIS, los picos de potencia eran menos notorios en comparación con el algoritmo Triple-DES convencional.

Por otro lado, realizaron el cálculo de la probabilidad de acierto entrópica (Probability of Guessing Entroppy), que representaba la cantidad promedio de intentos para adivinar un valor de una llave. En dicho cálculo los autores muestran que aproximadamente cerca del 86.6% de las muestras la probabilidad fue menor para el algoritmo FORTIS en comparación con Triple-DES convencional.

De esta forma, el artículo concluye que la implementación del Comparator y los Versatile Shifters generan una mayor complejidad para los atacantes al intentar vulnerar las llaves del algoritmo Triple-DES.

3.10 Implementación del algoritmo de cifrado y descifrado DES basado en FPGA

En el año 2020, se presentó el artículo[26] en el Indonesian Journal of Electrical Engineering and Computer Science. En esta nueva propuesta, el autor realiza un análisis del DES aplicado en dispositivos FPGAs. Estos dispositivos garantizan eficiencia en el proceso de computación debido a su alto rendimiento, lo que les permite implementar la computación paralela a través de la construcción de elementos de procesamiento (PE) paralelos llamados procesadores virtuales.

Cualquier sistema que implemente FPGA ofrece resultados más rápidos y precisos que los basados en el tradicional PC. Los FPGAs constituyen una plataforma reconfigurable que proporciona tiempo y soluciones para implementaciones criptográficas y, además, no resulta costosa a diferencia de otros sistemas como ASIC. Los cálculos complejos se resuelven con suma facilidad en los dispositivos FPGAs reduciendo el tiempo necesario para el cifrado de un código. El autor sostiene que su sistema de encriptación es competitivo, rápido, consume menos energía. Además, propone utilizar el pipelining para aumentar el rendimiento en en cada etapa del cifrado. El inconveniente más relevante surge cuando la frecuencia sobrepasa la

ISSN 1794-211X • e-ISSN 2322-939X • Vol 19, N° 2 (julio-diciembre 2022).pp. 127-155. Universidad Distrital Francisco José de Caldas-Facultad Tecnológica.

permitida por el sintetizador y el dispositivo empieza a fallar.

3.11 Nueva modificación en el algoritmo FEistel DES basado en claves multinivel

En el mismo año, International Journal of Electrical and Computer Engineering presentó [27] su nueva publicación. Basándose en las debilidades del cifrado de mensajes, los autores proponen un algoritmo más seguro debido a su complejidad, ya que se necesitan 21173 intentos para descifrar el mensaje. Este algoritmo f unciona sustituyendo las debilidades de XOR con una operación # utilizando bloques de bits variables y dos claves adicionales que resultan de la combinación de cuatro estados, de esta manera en cada ronda se aumenta la seguridad y complejidad del algoritmo. La diferencia resulta del cambio de una clave que genera el DES por múltiples claves independientes.

Los autores dan una explicación detallada de las modificaciones propuestas en cuanto a los niveles de entrada y salida. Posteriormente, presentan una evaluación de complejidad, el tiempo de cifrado y el rendimiento, junto con un análisis de las pruebas NIST y un análisis de histograma.

Como conclusión, el autor plantea una sustitución total de XOR y una modificación de la estructura del DES hacia una más compleja como la que se presenta en el estudio.

3.12 Investigación sobre la encriptación de datos contables mediante el algoritmo DES bajo el Sistema de microprocesador

Cerca del final de este recorrido se encuentra el artículo [28], publicado en el año 2021 por Microprocessors and Microsystems. En este artículo se lleva a cabo un análisis sobre la situación actual de los sistemas de transacciones bancarias realizadas mediante chip, en los cuales se emplea un proceso de cifrado de mensajes para mantener la información segura de personas no autorizadas.

Los autores señalan que el sistema actual presenta algunas falencias en cuanto a seguridad, relacionadas con procesadores criptográficos de cifrado simétrico que pueden ser invertidos, contraseñas desequilibradas y baja seguridad en la clave única utilizada. Como conclusión de su análisis, proponen un algoritmo que implica el cifrado y descifrado de datos utilizando una clave secreta. Esta clave es usada con el fin de cambiar el significado del mensaje. En la propuesta el emisor de la clave tiene la capacidad de ejecutar todos los mensajes, lo que permite prescindir del usuario y la clave.

A pesar de ser una propuesta bastante prometedora, es importante resaltar que el

ISSN 1794-211X • e-ISSN 2322-939X • Vol 19, N° 2 (julio-diciembre 2022). pp. 127-155. Universidad Distrital Francisco José de Caldas-Facultad Tecnológica.

diseño propuesto carece de detalles y especificaciones técnicas específicas, por lo cual se debe continuar perfeccionando para alcanzar los objetivos propuestos de ofrecer un método más seguro para las transacciones bancarias a través de un chip, utilizando un sistema de microprocesadores para el cifrado y descifrado de la información.

3.13 Investigación en estándar de encriptación de información basado en AES para el Internet de las cosas

Con el creciente auge del Internet de las cosas, que facilita el intercambio de información entre personas, personas y cosas o cosas y cosas entre si, se incrementa la importancia de proteger la información con mecanismos de seguridad más robustos y eficientes. Debido a esto Na Su, Yi Zhang, Mingyue Li han diseñado el algoritmo DESI (Data Encryption Standard in IoT) en [29].

El algoritmo DES presenta la debilidad de tener una llave muy corta y un paquete de información reducido, es por esto que surge el algoritmo AES en el cual se pueden tener longitudes de llaves de 128, 192 o 256 bits, mejorando la seguridad de la encriptación. Con la proliferación de IoT se hace necesario mejorar tanto la seguridad como el tiempo de respuesta de los algoritmos. DESI emplea un concepto similar a AES realizando rondas de encriptación con cuatro fases: sustitución de bytes, rotación de filas, mezcla de columnas, y suma de la llave.

En la fase de sustitución de bytes, se lleva a cabo una operación no lineal que agrega seguridad al algoritmo. Esta fase consta de dos partes: primero convierte los bytes a su inverso multiplicativo manteniendo el cero igual, luego se multiplica por una matriz constante y se suma un vector constante al resultado.

En la rotación de filas se organiza el texto de 16 bytes en una matriz 4x4, donde la primera fila permanece intacta, la segunda se rota tres posiciones a la derecha, la tercera se rota dos posiciones a la derecha y la cuarta se rota una posición a la derecha. Esta etapa añade la parte de difusión del algoritmo. En cuanto a la mezcla de columnas se realiza una operación matricial entre la matriz 4x4 obtenida del paso anterior y una matriz de coeficientes.

Finalmente, se realiza la suma de la llave, pero esta cambia en cada ronda de acuerdo al algoritmo de expansión de llave, este algoritmo toma segmentos de 4 bytes de la llave, y para calcular el i-ésimo segmento se suma con el segmento (i-1) de esta forma la llave va generando una dependencia con el segmento anterior. Cuando el segmento i es múltiplo de 4 se le aplica una función g()

ISSN 1794-211X • e-ISSN 2322-939X • Vol 19, N° 2 (julio-diciembre 2022).pp. 127-155. Universidad Distrital Francisco José de Caldas-Facultad Tecnológica.

no lineal para agregar mayor difusión al algoritmo.

Los autores sostienen que de acuerdo a la literatura para evitar ataques de Shortcut es necesario tener al menos 6 rondas, es por esta razón ellos utilizaron 7 rondas, una adicional para garantizar la seguridad del algoritmo, pero lo suficientemente pocas para garantizar una ejecución rápida.

Al final, concluyen que el algoritmo DESI mejora la seguridad de encriptación, alcanzando un nivel de seguridad comparable al de AES, pero con tiempos de ejecución inferiores, como se evidencia en la Tabla 2. Por esta razón los autores sostienen que DESI es una alternativa viable para implementar en el intercambio de información en IoT.

Tabla 2. Comparación de tiempos entre AES y DESI.

Data size (KB)	AES runtime (ms)		DESI runtime (ms)	
	encryption	Decrypt	encryption	Decrypt
20	99	109	62	78
40	208	218.7	140	156
60	317.3	332.7	203	223.7
80	426.3	442	281	301.7
100	525.3	541	353.7	379.3

3.14 Mejora basada en llave para DES en seguridad en textos

A pesar del tiempo el algoritmo DES es ampliamente utilizado como estándar de encriptación en diversas áreas que implican el intercambio de información, esto se debe al creciente volumen de información compartida a través de redes y sistemas informáticos, que incluyen datos en tiempo real a través de aplicaciones en Internet. En este contexto es importante garantizar la confidencialidad y seguridad de los datos, tanto en su transmisión como en su almacenamiento. Como respuesta a esta necesidad, se han propuesto diversas mejoras al algoritmo DES, Omar Reyad, Hanaa M. Mansour, Mohamed Heshmat y Elnomery A. Zanaty proponen en [30] una nueva técnica para la generación de llave mediante una función denominada key-distribution la cual consiste en lo siguiente:

- Realizar la permutación PC-1 para transformar la llave de 56 bits, ded los cuales los primeros 8 bits permanecerán constantes en todas las rondas.
- Aplicar la función Odd/Even en cada posición, la cual consiste en convertir en 0 aquellos bits que sean 1 en posiciones pares, y en 1 aquellos bits que sean 0 en posiciones impares.
- Dividir el resultado en dos mitades denotadas como C0 y D0.
- Realizar una rotación a la izquierda en cada mitad C0 y D0.

ISSN 1794-211X • e-ISSN 2322-939X • Vol 19, N° 2 (julio-diciembre 2022). pp. 127-155. Universidad Distrital Francisco José de Caldas-Facultad Tecnológica.

- Aplica la permutación PC-2 y concatenar las dos mitades.
- El resultado obtenido se utiliza como entrada para obtener las llaves siguientes en las próximas rondas.

Una vez generada la llave, se procede a implementar el algoritmo DES convencional, teniendo en cuenta que en cada ronda aplica la función key-distribution para crear la llave.

De esta forma los autores concluyen que su algoritmo Key-based Enhancement DES (KE-DES) permite aumentar la seguridad del algoritmo DES convencional debido a su implementación de la función key-distribution, que permite crear una llave sólida para el proceso. Además, destacan que la velocidad de ejecución no se significativamente afectada ya que al compararlo con el algoritmo DES se observó que el tiempo de ejecución, aunque incrementó, permanece en el orden de los microsegundos.

4. Conclusiones

Al final de todo este repaso analítico por la historia de estos dos algoritmos, se evidencia su contribución fundamental en diversas implementaciones y comparaciones con otras propuestas de mejora en el ámbito de la criptología. Aunque no sean considerados los óptimos, ni la mejor opción al momento de brindar seguridad, han sido ampliamente utilizados en sistemas de seguridad, siendo prácticamente pioneros en este campo.

Por otra parte, tanto DES como 3DES han servido como punto de partida o base para el desarrollo de numerosos sistemas de seguridad a lo largo de su historia, a partir de sus fundamentos y limitaciones, se han ideado mejoras que han sido aplicadas en diversas investigaciones y propuestas presentadas en este artículo.

Es importante señalar las principales falencias o debilidades de estos algoritmos. En cuanto a DES, destaca su corta longitud de llave y el reducido tamaño del paquete de información (56 bits), lo que ha propiciado que la encriptación mediante este método pueda ser vulnerada en menos de un día por ataques de fuerza bruta. Asimismo, en el caso de 3DES ocurre algo similar, debido a la división de la clave de 192 bits en tres partes de 64 bits, lo que también la hace susceptible a ataques de fuerza bruta.

Además, es relevante mencionar que en la mayoría de la literatura especializada sobre estos algoritmos se destaca a AES como su sucesor natural, es considerado el más seguro debido a su tamaño de bloque fijo

de 128 bits y tamaños de llave de 128, 192 o 256 bits superiores a DES y 3DES.

Referencias

[1] D. Coppersmith, D. B. Johnson, and S. M. Matyas, "A proposed mode for triple-DES encryption," *IBM Journal of Research and Development*, vol. 40, no. 2, pp. 253–262, 1996. https://doi.org/10.1147/rd.402.0253

[2] S.-J. Han, H.-S. Oh, and J. Park, "The Improved Data Encryption Standard (DES) algorithm," *Proceedings of ISSSTA'95 International Symposium on Spread Spectrum Techniques and Applications*, 1996.

[3] N. GAO, Q. WANG, and Z. LI, "A reconfigurable architecture for accelerating DES, 3DES and AES," *in Proceedings of the 11th Joint International Computer Conference: JICC* 2005, 2005, pp. 474-476.

[4] R. C. W. Phan, "Reducing the exhaustive key search of the Data Encryption Standard (DES)," *Computer Standards & Interfaces*, vol. 29, no. 5, pp. 528–530, 2007. doi: https://doi.org/10.1016/j.csi.2006.11.010

[5] M. Sachin and D. Kumar, "Implementation and Analysis of AES, DES and Triple DES on GSM Network," IJCSNS International Journal of Computer Science and Network Security, vol. 10, pp. 298-303, 2010.

[6] H. Agrawal and M. Sharma, "Implementation and analysis of various symmetric cryptosystems," *Indian Journal of Science and Technology*, vol. 3, no. 12, pp. 1173-1176, 2010.

[7] F. Ren, L. Chen, and T. Zhang, "3DES implementation based on FPGA," *in Proceedings of the International Conference on Web Information Systems and Mining*, 2011, pp. 218-224.

[8] S. Karthik and A. Muruganandam, "Data Encryption and Decryption by Using Triple DES and Performance Analysis of Crypto System," *International Journal of Scientific Engineering and Research (IJSER)*, vol. 2, pp. 140-144, 2014.

[9] Z. Yingbing and L. Yongzhen, "The design and implementation of a symmetric encryption algorithm based on DES," *in 2014 IEEE 5th International Conference on Software Engineering and Service Science*, 2014, pp. 517-520.

[10] S. Rao, "Performance analysis of DES and triple DES," *International Journal of Computer Applications*, vol. 130, no. 14, pp. 30-24, 2015.

[11] P. Patil, P. Narayankar, D. Narayan, and S. Meena, "A Comprehensive Evaluation of Cryptographic Algorithms: DES, 3DES, AES, RSA and Blowfish," *Procedia Computer Science*, vol. 70, pp. 1-7, 2015. https://doi.org/10.1016/j.procs.2016.02.108

[12] N. Aleisa, "A Comparison of the 3DES and AES Encryption Standards," *International Journal of Security and Its Applications*, vol. 9, no. 7, pp. 241-246, 2015

[13] M. M. Abdelwahab, "High performance FPGA implementation of Data encryption standard," *2015 International Conference on Computing, Control, Networking, Electronics and Embedded Systems Engineering (ICCNEEE)*, 2015, pp. 235-238. https://doi.org/10.1109/iccneee.2015.7381424

[14] Z. Güler, F. Özkaynak, and A. Çinar, "CUDA implementation of DES algorithm for lightweight platforms," *in ACM International Conference Proceeding Series*, vol. Part F131935, 2017, pp. 49-52. https://doi.org/10.1145/3143344.3143356

[15] P. M. Velasco, M. S. Jiménez, and G. X., "Análisis de los mecanismos de encriptación para la seguridad de la información en redes de comunicaciones," *SATHIRI*, vol. 12, no. 1, pp. 91-103, January-June 2017, ISSN 1390-6925, LATINDEX 21955, https://revistasdigitales.upec.edu.ec/index.php/sathiri/article/view/38/92

[16] M. Basri, "Cloud Computing Security Model with Combination of Data Encryption Standard Algorithm (DES) and Least Significant Bit (LSB)," *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, vol. 970, no. 1, p. 012027, 2018. https://doi.org/10.1088/1742-6596/970/1/012027

[17] R. R. Devi and V. C. Vijaya Chamundeeswari, "Triple DES: Privacy Preserving in Big Data Healthcare," *International Journal of Parallel Programming*, vol. 48, no. 3, pp. 515-533, 2018. https://doi.org/10.1007/s10766-018-0592-8

[18] Ratnadewi, Adhie, R. P., Hutama, Y., Saleh Ahmar, A., and Setiawan, M. I., "Implementation Cryptography Data Encryption Standard (DES) and Triple Data Encryption Standard (3DES)

Method in Communication System Based Near Field Communication (NFC)," *Journal of Physics: Conference Series*, vol. 954, p. 012009, 2018.

[19] D. Rachmawati, A. S. Harahap, and R. N. Purba, "A hybrid cryptosystem approach for data security by using triple des algorithm and ElGamal algorithm," *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, vol. 453, p. 012018, 2018.

[20] I. T. Plata, E. B. Panganiban, and B. B. Bartolome, "A security approach for file management system using data encryption standard (DES) algorithm," *International Journal of Advanced Trends in Computer Science and Engineering*, vol. 8, no. 5, pp. 2042-2048, 2019.

[21] W. Y. Zibideh and M. M. Matalgah, "Modified Data Encryption Standard encryption algorithm with improved error performance and enhanced security in wireless fading channels," *Security and Communication Networks*, vol. 8, no. 4, pp. 565–573, 2014.

[22] N. Adam, M. Mashaly, and W. Alexan, "A 3des double–layer based message security scheme," *in 2019 2nd International Conference on Computer Applications & Information Security (ICCAIS)*, May 2019, pp. 1-5.

[23] M. Haithem and R. A. R. Lateef, "Intelligent TRIPLE DES with N Round Based on Genetic Algorithm," *Iraqi Journal of Science*, pp. 2058–2066, 2019.

[24] M. M. Alani, M. Alrammal, and M. Naveed, "Implementing IoT lottery on data encryption standard," *Journal of Communications*, vol. 15, no. 10, pp. 735-740, Oct. 2020.

[25] A. Vuppala, R. S. Roshan, S. Nawaz, and J. V. R. Ravindra, "An efficient optimization and secured Triple Data Encryption Standard using enhanced key scheduling algorithm," *Procedia Computer Science*, vol. 171, pp. 1054-1063, 2020.

[26] S. R. M. Zeebaree, "DES encryption and decryption algorithm implementation based on FPGA," *Indonesian Journal of Electrical Engineering and Computer Science*, vol. 18, no. 2, pp. 774-781, 2020.

[27] S. M. Kareem and A. M. S. Rahma, "New modification on feistel DES algorithm based on multi-level keys," *International Journal of Electrical and Computer Engineering*, vol. 10, no. 3, pp. 3125–3135, 2020.

[28] M. Haithem and R. A. R. Lateef, "Intelligent TRIPLE DES with N Round Based on Genetic Algorithm," Iraqi

Journal of Science, pp. 2058–2066, 2019.

[29] N. Su, Y. Zhang, and M. Li, "Research on data encryption standard based on AES algorithm in internet of things environment," *in 2019 IEEE 3rd Information Technology, Networking, Electronic and Automation Control Conference (ITNEC)*, 2019.

[30] O. Reyad, H. M. Mansour, M. Heshmat, and E. A. Zanaty, "Key-based enhancement of Data Encryption Standard for Text Security," *in 2021 National Computing Colleges Conference (NCCC)*, 2021.