

Aplicación del Álgebra Lineal: Ofuscación binaria

Universidad Panamericana
Facultad de Ingeniería



Álgebra Lineal
Prof. Miguel Angel Quintero Zamarron

Díaz Barriga Rodrigo Peña		0249221
Osornio López Daniel Alejandro		0244685
Paredes García Ricardo		0241528

Índice

1. Portada	1
2. Objetivos	3
3. Resumen	3
4. Introducción	4
5. Marco Teórico	5
5.1. Transformaciones	5
5.1.1. Transformaciones lineales	5
5.1.2. Matriz asociada	5
5.1.3. Matriz inversa	5
5.2. Computadoras	5
5.2.1. Bit	5
5.2.2. Byte	6
5.2.3. CPU	6
5.2.4. Como funciona un archivo	6
5.2.5. Álgebra modular	7
5.2.6. Módulo	7
6. Aplicación Posible	8
7. Experimentación	9
7.1. Método 1	9
7.1.1. Cifrado	9
7.1.2. Descifrado	14
7.2. Método 2	15
8. Resultados	17
8.1. Cifrado	17
8.2. Descifrado	19
8.3. Ejecución	21
9. Discusión de Resultados	24
9.1. Descifrado por histogramas	24
9.2. Vulnerabilidades de almacenamiento	26
10. Conclusiones y Recomendaciones	27
11. Bibliografía	28
A. Appendix	29
B. Appendix	31
C. Appendix	32
D. Appendix	34
E. Appendix: Código completo	36
F. Appendix: Notebook de Mathematica completo y repositorio de LaTeX	41
G. Appendix	42

2. Objetivos

1. Diseño de un algoritmo de cifrado que utilice como herramienta principal el álgebra lineal
2. Creación de un ejecutable de ofuscación de archivos
 - 2.1. Implementación de un script de cifrado de archivos con Mathematica
 - 2.2. Implementación del algoritmo del punto 2.2 para desarrollar una herramienta de ofuscación de archivos binarios y de texto
 - 2.3. Verificación de ofuscación con herramientas de ingeniería inversa

3. Resumen

El objetivo de este proyecto es utilizar transformaciones lineales como llaves para cifrar y descifrar bits de información. Se explora el uso de la aritmética modular para mantener la congruencia de la información a la vez que se experimenta con distintos métodos de cifrado por medio de algoritmos varios que emplean las transformaciones en su proceso. La meta es implementar una herramienta de cifrado y descifrado que pueda proteger tanto archivos de texto como ejecutables con un procedimiento que permita su auto descifrado junto con soporte a *passphrases* para obtener mayor seguridad.

Los métodos estudiados son dos.

El primero es una modificación de un cifrado de sustitución. Primero se construye una matriz que contiene todos los valores representables en un byte y modifica la matriz por medio de multiplicaciones matriciales para después sustituir cada byte en el archivo por su nuevo valor.

El segundo, ordena todos los bytes del mensaje a cifrar, como puede ser un archivo, y le aplica una multiplicación matricial a la totalidad del archivo.

Para dar soporte al auto-descifrado de los archivos, cuando se utilice la bandera `-auto`, se almacenan en el archivo los valores para descifrarse a sí mismo, con bytes de meta información que facilitan el proceso y permiten una mayor seguridad lograda por el factor aleatorio. Este proyecto plantea la implementación de una librería de cifrado de archivos por medio de una ofuscación binaria lograda por transformaciones.

4. Introducción

Como estudiantes de la carrera de Inteligencia de Datos y Ciberseguridad, decidimos desarrollar el proyecto sobre un tema que permite darnos una noción del funcionamiento de las computadoras al desarrollar un sistema que se encargue de cifrar archivos de todo tipo, modificando los bytes del mismo por los que una transformación lineal dicte.

Antes de empezar a programar nada, desarrollaremos el algoritmo de cifrado que emplearemos; describiremos los conceptos necesarios para llegar a dicho procedimiento y los patrones que contiene para analizar si es posible su cifrado de forma sencilla.

Una vez tengamos listo el algoritmo, implementaremos un script de uso general para el cifrado de arreglos de bytes utilizando el lenguaje de programación Rust

Decidimos emplearlo debido a la facilidad que tiene en su sintaxis sumada con las operaciones de bajo nivel que permite realizar con la computadora sin necesidad de producir código complejo como pasaría con C/C++.

Verificaremos que la librería es estable y arroja como resultado el archivo exacto que se tenía antes de ser cifrado. Una ventaja de analizarlos como arreglos de bytes, es que da igual el *encoding* con el que cuente él mismo, por lo que la librería es amigable con ejecutables, imágenes, etc.

La librería contará con el soporte para cifrar ejecutables, ofreciendo una manera de que se autodescifren sin exponer de manera explícita la manera en que lo hacen.

Por último, usaremos la librería para programar una aplicación de la línea de comandos que cifra archivos de todo tipo.

Este es un tema altamente experimental, por lo que se espera encontrar limitaciones en el camino.

5. Marco Teórico

5.1. Transformaciones

En las matemáticas, una transformación puede ser toda función que asocia un conjunto X en otro conjunto o sobre sí mismo.

En algunos casos el conjunto X posee alguna estructura algebraica o geométrica y el término de “transformación” se esta refiriendo a una función X que va a conserva dicha estructura.

Algunos ejemplos de transformaciones geométricas pueden ser transformaciones lineales, transformaciones afines, rotaciones, reflexiones o traslaciones. Estas sueles realizar en un espacio euclidian, en donde la mayoría de las veces suelen ser en \mathbb{R}^2 (dos dimensiones) y \mathbb{R}^3 (tres dimensiones).

Son operaciones en donde se pone en práctica la álgebra lineal y ser descritas de manera explícita utilizando matrices.

5.1.1. Transformaciones lineales

Son funciones en donde se usa la álgebra lineal, y el objetivo que tiene una transformación lineal es el poder transformar de un espacio a otro. Para que se pueda considerar como transformación lineal debe de cumplir con dos condiciones:

1. $T(v + w) = T(v) + T(w)$
2. Multiplicación de un escalar por un vector: $T(cv) = c \times T(v)$

5.1.2. Matriz asociada

Para toda transformación lineal va a existir una matriz asociada de tal manera que para $T(v) = Av$ para toda v en V . Lo que indica el teorema es que cada vez que se tome una base diferente para los espacios vectoriales de una transformación lineal se va a tener una representación matricial diferente.

5.1.3. Matriz inversa

El producto de una matriz por su inversa va a ser igual a la matriz identidad. Se puede calcular la inversa por el método de Gauss, pero al que tener en cuenta que para poderlo calcular debe de ser cuadrada la matriz, ya que si no lo hace no se va a poder calcular.

La matriz inversa es ya sea de A es capaz que al momento de multiplicarse por ella misma se puede obtén una matriz identidad la cual se representa como A^{-1} del orden correspondiente. La identidad se puede calcular por el método de Gauss, pero para poder obtener la inversa es necesaria que la matriz sea cuadrada, ya que si no existe no se puede calcular la inversa.

5.2. Computadoras

5.2.1. Bit

Todo en las computadoras es representado por los valores 0 y 1 debido a que funcionan con el estado o no de un componente, con la presencia o no de energía.

A una unidad que puede valer verdadero (1) o falso (0) se le conoce como bit. Los bits son la unidad más pequeña de información en las ciencias de la computación.

El bit es un acrónimo de *Binary digit* lo cual se traduce como “dígito binario” el cual suele identificarse como “b”. De acuerdo con la definición de bit es un dígito del sistema de numeración binaria, que son representados ya sea que se representa con el 0 o 1.

(«¿Qué es un bit?», s.f.)

5.2.2. Byte

A un grupo de 8 bits se les agrupa. A esta agrupación se le conoce como byte.

Es la unidad estándar de información en la informática. Al momento de poder identificar la unidad en la mayoría de ocasiones se suele identificar como “B” pues todavía no existe un símbolo. Al ser un conjunto de 8 bits también se suele llamar como octeto.

(«¿Qué es un byte?», s.f.)

Un byte puede contener 2^8 combinaciones distintas de bits. Por ejemplo:

01000111 01111111 00000000

Los bits en un byte pueden representar cualquier cantidad entre el 0 al 255 si se interpretan como números binarios no firmados. Efectivamente, formando 256 combinaciones diferentes.

5.2.3. CPU

Las computadoras entienden la información de distinta forma a los humanos. Estas interpretan bytes que resultan en instrucciones para la CPU; en caracteres de un archivo de texto, en piezas para armar una imagen, en direcciones de memoria y en cualquier dato que se procese, almacene o ejecute en las mismas.

La forma en que una computadora interpreta se define con las instrucciones que tiene su CPU, su unidad central de procesamiento. Cada una cuenta con instrucciones distintas, como son los procesadores Intel o Ryzen.

La manera en que se moldearon las compuertas lógicas dentro de un procesador hará que el valor, por poner un ejemplo, 47 sea el que indique a la máquina que realizara una suma y que por ende debe tomar los siguientes dos valores para sumarlos.

Así como la computadora necesita entender los bytes con las instrucciones que tiene definidas, los humanos que entiendan las instrucciones y la CPU, pueden entender el funcionamiento de todo lo que sucede dentro de ella.

5.2.4. Como funciona un archivo

Un archivo o también conocido como fichero es un conjunto de unidades de bits almacenados en un dispositivo. Cada archivo se compone de un nombre, un punto y una extensión que va ser el encargado de determinar el tipo de archivo que va ser y sus funciones que debe de cumplir.

Dentro de los archivos existen paquetes pequeños de datos expresados en bits, que pueden ser presentados en bytes y los cuales se ordenan en registros o en líneas, siendo distintos, pero con algún rasgo en común.

Cabe mencionar que el modo de agrupación depende de quien haga el archivo, por lo que existen varias estructuras de archivos, desde más simples hasta más complejas.

Los archivos pueden tener distintas funciones ya sean contener información como es el caso de los archivos de textos, hasta crear archivos ejecutables que desencadenan ciertas secuencias de acciones que tiene como resultado una acción concreta.

Desde apagar la computadora hasta el iniciar algún videojuego, todo eso funciona a través de archivos interconectados ejecutándose por turno en memoria del computador.

(«Archivo en informática», s.f.)

5.2.5. Álgebra modular

En el álgebra modular los valores que se emplean siguen un ciclo infinito *redondo* desde al 0 hasta un número conocido como **módulo**. Se usa como sistema de equivalencias, también llamado aritmética de reloj o de anillo ya que los números *dan la vuelta* tras alcanzar el módulo.

(«Aritmética modular», s.f.)

Un ejemplo, tal como una de sus denominaciones informales, son las horas que maneja el reloj. En ella tenemos un valor máximo de 12 y uno mínimo de 1.

Matemáticamente podemos representar el conjunto de los valores posibles del reloj como:

$$\{x | x \pmod{12} + 1\}$$

El cual es un conjunto que se construye de los valores $\{0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11\}$ obtenidos con la operación $(\text{mod} 12)$ y a dicho resultado sumarle una unidad.

5.2.6. Módulo

Definición 1. Sea módulo (m) un número entero tal que $m > 1$. Decimos que dos enteros a y b son congruentes entre sí módulo m (congruente “ \pmod{m} ” para abreviar). Escribimos

$$a \equiv b \pmod{m},$$

para hacer saber que la diferencia $a - b$ es un múltiplo entero de m . En otras palabras, $a \equiv b \pmod{m}$ cuando $a = b + k \times m$ para algún número entero k (positivo, negativo o cero).

Definición 2. Sea m un entero con $m > 1$. Para un entero arbitrario a , el residuo de un módulo m es el único entero r entre $0, 1, \dots, m - 1$ con el que a es congruente módulo m .

(Eisenberg, 1999)

En la programación hay un operador llamado módulo representado como `%`, que puede causar confusión.

El operador se encarga de devolver el residuo de una operación sin importar si el número es negativo, positivo o 0. El problema radica en que se rompe con la definición 2 puesto que algunos lenguajes de programación suelen devolver valores negativos cuando se realiza la operación `a % m`

De modo en que, en Rust, el siguiente ejemplo no es equivalente a $-1 \equiv b \pmod{m}$

```
let b: int = -1 % m
```

Pero en Python el siguiente ejemplo sí es equivalente a la misma expresión.

```
b = -1 % m
```

Para poder obtener el comportamiento deseado se debe usar otro método con Rust. Es obligación de cada programador entender el funcionamiento de sus operadores para evitar cometer errores.

El siguiente código en Rust si se conforma con las dos definiciones dadas:

```
let b: int = (-1).rem_euclid(m)
```

6. Aplicación Posible

Se puede mezclar el álgebra modular junto con las propiedades de las transformaciones para cifrar a nivel de bytes archivos de cualquier tipo en computadores de cualquier arquitectura. La implementación de ésta idea tiene muchas posibilidades: Se puede emplear para cifrar pipes de comunicación delicados entre procesos, (de hecho usaremos ésta herramienta para ese motivo en un proyecto de programación avanzada), para cifrar instrucciones de código sin dañar la integridad de los mismos, cifrar cadenas de texto, cifrar archivos de texto, imágenes, etc.

Todo basado en que:

$$\text{texto} \times T = \text{cifrado}$$

Y por lo tanto:

$$\text{cifrado} \times T^{-1} = \text{texto}$$

Para lograr el cifrado existen varias alternativas que van desde colocar todos los bytes de un archivo en una matriz de tamaño arbitrario dependiendo de los divisores del número de bytes y crear una transformación con una matriz asociada aleatoria o crear una transformación que modifica la matriz de valores posibles para un byte y después realizar la sustitución de todos los bytes del archivo por la asociación construida por la transformación.

Analizaremos las dos alternativas e implementaremos una de ellas a código con Rust para crear una herramientas de la linea de comandos que cifre archivos.

7. Experimentación

7.1. Método 1

7.1.1. Cifrado

Para el primer algoritmo de cifrado tenemos una matriz que contiene todos los valores del 0 al 255, que representan todos los valores posibles representables por un byte de información.

$$\text{Bytes} := \begin{pmatrix} 0 & 1 & 2 & 3 & 4 & 5 & 6 & 7 & 8 & 9 & 10 & 11 & 12 & 13 & 14 & 15 & 16 & 17 & 18 & 19 & 20 & 21 & 22 & 23 & 24 & 25 & 26 & 27 & 28 & 29 & 30 & 31 \\ 32 & 33 & 34 & 35 & 36 & 37 & 38 & 39 & 40 & 41 & 42 & 43 & 44 & 45 & 46 & 47 & 48 & 49 & 50 & 51 & 52 & 53 & 54 & 55 & 56 & 57 & 58 & 59 & 60 & 61 & 62 & 63 \\ 64 & 65 & 66 & 67 & 68 & 69 & 70 & 71 & 72 & 73 & 74 & 75 & 76 & 77 & 78 & 79 & 80 & 81 & 82 & 83 & 84 & 85 & 86 & 87 & 88 & 89 & 90 & 91 & 92 & 93 & 94 & 95 \\ 128 & 129 & 130 & 131 & 132 & 133 & 134 & 135 & 136 & 137 & 138 & 139 & 140 & 141 & 142 & 143 & 144 & 145 & 146 & 147 & 148 & 149 & 150 & 151 & 152 & 153 & 154 & 155 & 156 & 157 & 158 & 159 \\ 256 & 257 & 258 & 259 & 260 & 261 & 262 & 263 & 264 & 265 & 266 & 267 & 268 & 269 & 270 & 271 & 272 & 273 & 274 & 275 & 276 & 277 & 278 & 279 & 280 & 281 & 282 & 283 & 284 & 285 & 286 & 287 & 288 & 289 & 290 & 291 & 292 & 293 & 294 & 295 & 296 & 297 & 298 & 299 & 300 & 301 & 302 & 303 & 304 & 305 & 306 & 307 & 308 & 309 & 310 & 311 & 312 & 313 & 314 & 315 & 316 & 317 \end{pmatrix}$$

Para este método, cambiaremos el orden de los valores aplicándole transformaciones a **Bytes**. La clave para que se pueda descifrar el mensaje y almacenar en un archivo es no perder ni una variante del valor que representa un byte.

Para lograrlo podemos intercambiar los valores, por fila o columna aplicando transformaciones.

Sea A^T una transformación que se le aplica a **Bytes**, A^T debe seguir las siguientes reglas:

1. La transformación que afecte a C_x también debe afectar a C_y , donde y es igual a $c - (x - 1)$, donde c es el número de columnas (31, contando desde 0) de la matriz identidad de **Bytes**
2. La matriz asociada de la transformación debe ser cuadrada, de 32x32, para que sea posible obtener su matriz inversa y poder descifrar el mensaje
3. No se puede afectar a C_1 , porque la forma en que el 0 se comporta con la aritmética modular no nos favorece
4. A toda transformación que multiplique un escalar tal que $a \neq 1$, se debe aplicar el álgebra modular para obtener un número congruente $b(\bmod m)$

Si (1) no se cumple, obtenemos pérdidas de información que hacen imposible el descifrado del *ciphertext*

Podemos intercambiar filas aplicando una transformación.

Sea

$$T_1 \begin{pmatrix} x_0 & x_1 & x_2 & x_3 & x_4 \\ x_5 & x_6 & x_7 & x_8 & x_9 \\ x_{10} & x_{11} & x_{12} & x_{13} & x_{14} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} x_0 & x_3 & x_2 & x_1 & x_4 \\ x_5 & x_8 & x_7 & x_6 & x_9 \\ x_{10} & x_{13} & x_{12} & x_{11} & x_{14} \end{pmatrix}$$

Su matriz asociada es:

$$\begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

Para cambiar el orden de las filas solo hace falta intercambiar posiciones de la matriz identidad correspondiente.

Para cambiar el orden de las filas, lo que se puede hacer es multiplicar las filas por -1 en la transformación, eso hace que, al momento de aplicar la misma a la matriz **Bytes** y obtener una matriz congruente por medio de la aplicación del módulo a todos sus elementos, se dé el efecto deseado, en el que el orden de las filas son cambiadas de lugar en ciertas columnas.

Un ejemplo, aplicamos a Bytes una transformación cuya matriz asociada es:

donde solo se cambia el signo de la fila R_2 y la fila $R_{31-(2-1)}$ para no tener pérdidas de información recordando la lista de requisitos de toda transformación aplicada a Bytes. Luego de obtener solo enteros congruentes (mod32), el resultado se aprecia en la siguiente figura 2:

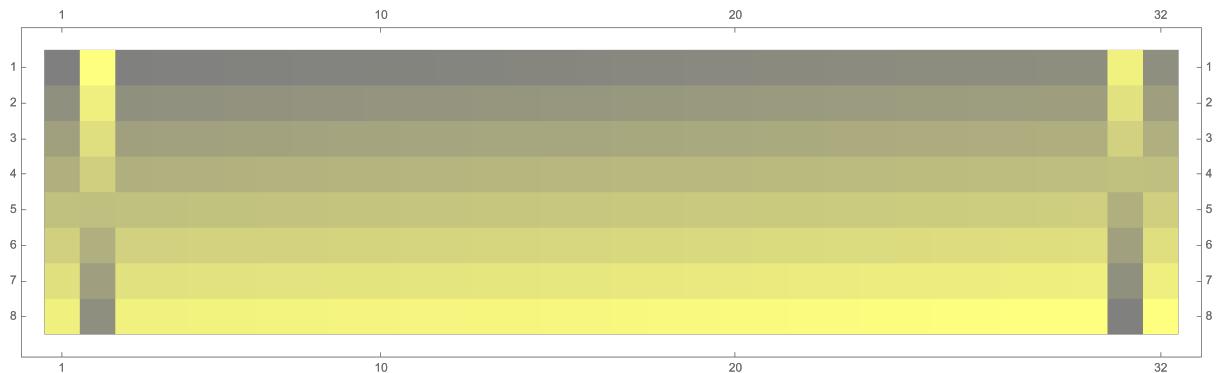


Figura 2: Visualización de Bytes $\times T_2$

Es fácilmente apreciable el cambio. Como mencionado antes, la fila R_2 y la fila $R_{31-(2-1)}$ tienen los

valores verticales intercambiados.

Podemos mezclar los dos tipos de transformaciones mencionadas antes para generar un diccionario que cambia totalmente la forma del mensaje a nivel de bytes de un archivo.

Por ejemplo, con la matriz asociada a T_3 :

Podemos transformar Bytes de forma que obtenemos como resultado:

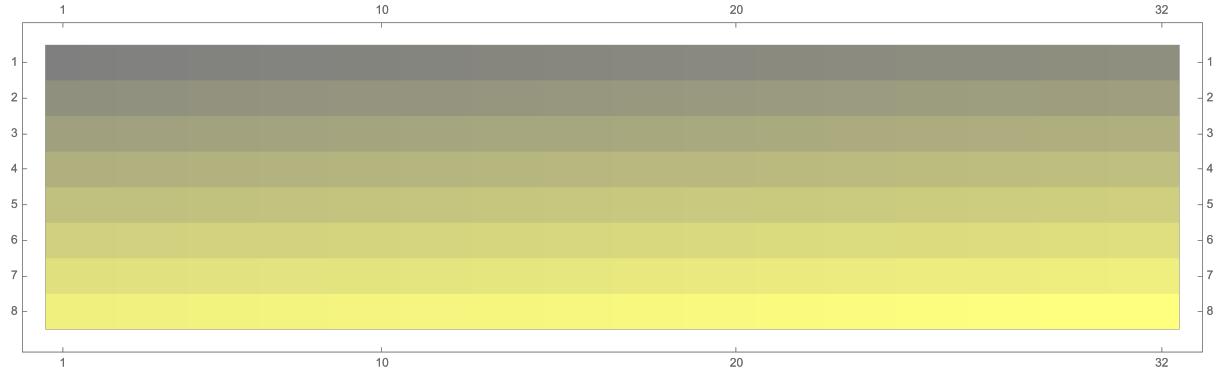


Figura 3: Visualización de Bytes

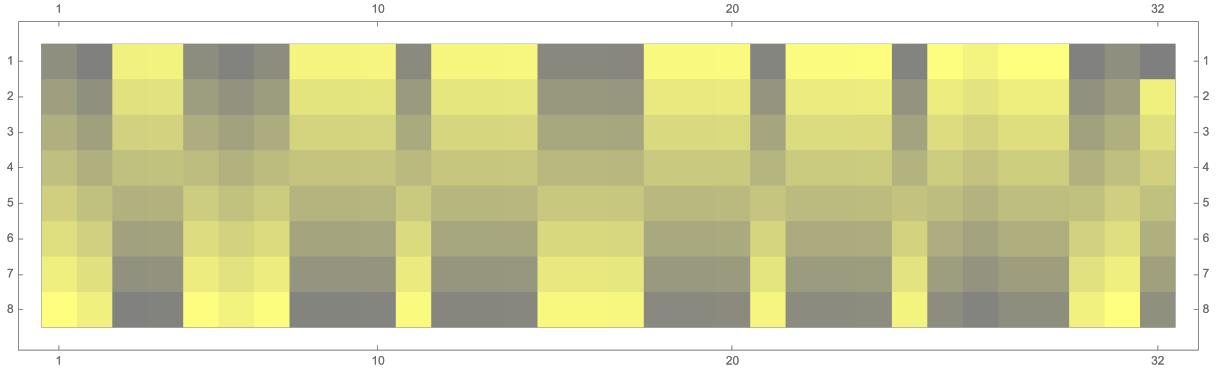


Figura 4: Visualización de $\text{Bytes} \times T_3$

Por todo lo anterior podemos decir que

$$\text{Bytes} \times T \equiv \alpha \pmod{255}$$

Donde Bytes es la matriz de 8×32 que contiene todos los valores representables por un byte y T es una transformación aleatoria formada siguiendo las reglas descritas al inicio de la sección. Siendo α el resultado de la transformación, que puede ser usado como asociación para remplazar los bytes del archivo.

De forma en que, similar al famoso *Caesar Cipher*, representa un mapeo de llave y valor que da la ilusión de desplazamiento o *swap* de valores.

Ejemplo:

$$\begin{array}{ll} 0x00 & 0x00 \\ 0x01 & 0x0F \\ 0x02 & 0x0A \end{array}$$

De forma en que $0x00$ pasará a valer $0x00$, $0x01$ pasará a valer $0xFF$, etc. Mapeo que es realizado en base a la comparación entre Bytes y α .

Luego de lo experimentado, nuestro algoritmo queda así:

1. Solicitar al usuario el archivo a cifrar
2. Comprobar que el usuario ingresó un archivo, no un directorio
3. Comprobar que el usuario ingresó un archivo que existe en el sistema
4. Generar una matriz cuadrada de 32×32 con 0 en ella
5. Popular R_1 con el valor por defecto: $\{1, 0, 0, 0, \dots\}$
6. Generar una matriz asociada de una T de forma aleatoria. Cumpliendo las reglas:
 - a) Si se modifica C_x se debe afectar C_y donde x es un número entero del 0 al 31 y $y = 31 - (x - 1)$
 - b) No se puede modificar a R_1
7. Aplicar la transformación T a Bytes y almacenar el resultado

8. Armar un `HashMap` con los valores del resultado.
9. Calcular la matriz inversa de la matriz asociada a T
10. Escribir una firma de archivo para saber cuando el usuario ingresa un archivo que no ha sido cifrado
11. Escribir la matriz inversa como *metadata* en el archivo cifrado para poder descifrarlo
12. Escribir el estado de bytes inverso como *metadata* en el archivo cifrado para poder descifrarlo
13. Reemplazar todos los bytes del archivo objetivo por las asociaciones descritas en el `HashMap`

Se puede observar el algoritmo que genera la matriz asociada a la transformación en el [Appendix B](#)

De modo en que los primeros 4 bytes del archivo cifrado deben verse:

42 3C 0A FF

Para saber si se trata de un archivo cifrado.

Después se encontrarán 2049 bytes describiendo la inversa de T , en ellos, cada byte inmediato anterior representa si en la matriz se contaba con un número negativo `0x01` o positivo `0x00` seguido del valor (`0x00` — `0x01`)

```
00 01 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00
00 00 00
00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00
00 00 00
...
00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00
00 00 00
00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00
00 00 00
```

Luego, la descripción del estado final de `Bytes` luego de aplicarle T

```
00 E1 02 FD E4 E5 FA F9 E8 F7 EA F5 F4 F3 F2 F1 F0 EF EE ED EC EB F6 E9 F8 E7
E6 FB FC
E3 1E FF 20 C1 22 DD C4 C5 DA D9 C8 D7 CA D5 D4 D3 D2 D1 D0 CF CE CD CC CB D6
C9 D8 C7
...
```

Y por último los bits cifrados del mensaje original.

A8 91 94 81 20 93 85 20 94 94 81 93 91 20 84 81 92 97 85 94

7.1.2. Descifrado

De modo en que:

$$\text{Bytes} \times T \equiv \alpha \pmod{255}$$

Entonces:

$$\alpha \times T^{-1} \equiv \text{Bytes} \pmod{255}$$

Es por esa razón por la que experimentamos almacenando α y T^{-1} dentro del mismo archivo cifrado, de forma en que podemos rápidamente recuperarlos para descifrar los bytes que en él se contengan.

Como decidimos almacenar en el mismo archivo cifrado los datos que nos permiten armar la matriz inversa para regresar del estado cifrado al texto normal, usaremos el algoritmo:

1. Solicitar al usuario el archivo a descifrar
2. Comprobar que el usuario ingresó un archivo, no un directorio
3. Comprobar que el usuario ingresó un archivo que existe en el sistema
4. Generar una matriz cuadrada de 32x32 con 0 en ella llamada `key`
5. Generar una matriz cuadrada de 8x32 con 0 en ella llamada `inv`
6. Popular `key` con los valores almacenados como metadata en el archivo cifrado
7. Popular `inv` con los valores almacenados como metadata en el archivo cifrado
8. Aplicar la transformación T^{-1} (`inv`) a `key` y almacenar el resultado
9. Armar un `HashMap` con los valores del resultado.
10. Reemplazar todos los bytes del archivo cifrado por las asociaciones descritas en el `HashMap`

7.2. Método 2

Este segundo método es similar al primero en el sentido de que usamos las bases:

$$\beta \times T \equiv \alpha \pmod{255}$$

$$\therefore \alpha \times T^{-1} \equiv \beta \pmod{255}$$

En lugar de contar con `Bytes`, `T`, `Mensaje` y `BytesCifrados`, donde se hace una sustitución de acuerdo a como cambie `BytesCifrados` respecto de `Bytes`, contamos solo con una matriz de los bytes del mensaje `BytesMensaje` y `T`, que es una matriz cuadrada dependiendo del tamaño de `BytesMensaje` para poder realizar la multiplicación de matrices y por lo tanto aplicar la transformación.

$$\text{BytesMensaje} \times T \equiv \text{BytesMensajeCifrado} \pmod{255}$$

$$\text{BytesMensajeCifrado} \times T^{-1} \equiv \text{BytesMensaje} \pmod{255}$$

Sin necesidad de ningún `HashMap`, la matriz transformada se escribe tal cual al archivo objetivo.

El algoritmo de cifrado propuesto es el siguiente:

1. Solicitar al usuario el archivo a descifrar
2. Comprobar que el usuario ingresó un archivo, no un directorio
3. Comprobar que el usuario ingresó un archivo que existe en el sistema
4. Obtener los divisores del número que representa el número de bytes del archivo
5. Generar una matriz de $m \times n$ con los divisores de forma aleatoria. Llamada **Bytes**
6. Generar una matriz de $n \times n$, populándola con números aleatorios. Llamada T
7. Obtener la matriz inversa de T
8. Realizar la multiplicación de matrices **Bytes** $\times T$
9. Escribir el resultado en un nuevo archivo.
10. Escribir las dimensiones de Bytes.
11. Escribir la matriz inversa en un nuevo archivo.

Y para descifrar:

1. Solicitar al usuario el archivo a descifrar
2. Comprobar que el usuario ingresó un archivo, no un directorio
3. Comprobar que el usuario ingresó un archivo que existe en el sistema
4. Obtener las dimensiones de la matriz de bytes.
5. Generar una matriz de $m \times n$ con los valores obtenidos del archivo cifrado Llamada **BytesCifrado**
6. Generar una matriz de $n \times n$, populándola con los valores almacenados de la matriz inversa. Llamada T^{-1}
7. Realizar la multiplicación de matrices **BytesCifrado** $\times T^{-1}$
8. Escribir el resultado en un nuevo archivo.

8. Resultados

Luego de la experimentación con Mathematica, se implementaron ambos algoritmos con Rust usando las dependencias:

1. `clap "3.1.17"`: Para tener un manejo y estructura más sencilla de los argumentos y comandos del programa
2. `nalgebra "0.31.0"`: Librería para tener a disposición matrices de tamaño arbitrario. También brinda operaciones como multiplicación de matrices u obtener la inversa.
3. `rand "0.8.5"`: Para la generación de números aleatorios empleados al momento de construir la matriz asociada a la transformación T en cada ejecución,

La utilidad de linea de comandos desarrollada cuenta con dos verbos principales:

1. `cypher` (con alias `c`): Cifra un archivo remplazándolo por uno con la extensión `.lcy`. Elimina el archivo original al terminal.
2. `decipher` (con alias `d`): Descifra un archivo. Crea un archivo con el nombre original, sin extensión `.lcy` donde coloca los resultados. Elimina el archivo cifrado al terminal.
3. `help` Para mostrar ayuda al usuario

Decidimos llamar a la herramienta `lcy`, de "*Linear algebra cypher*" o solo "*Linear cypher*"

8.1. Cifrado

El código comienza verificando que el archivo a cifrar existe y abriendo 2 archivos. Uno que crea de 0, con permisos de lectura y escritura donde colocará el mensaje cifrado y otro donde lee los contenidos a cifrar.

Si se le pide cifrar `Texto.txt`, entonces abrirá `Texto.txt` y creará `Texto.txt.lcy` para almacenar el resultado.

```
if !path.exists() {  
    eprintln!("Error: El archivo {} no existe!", path.display());  
    exit(1)  
}  
  
let mut file = OpenOptions::new()  
    ...  
    .open(&path)  
    .unwrap();  
  
let mut file2 = OpenOptions::new()  
    ...  
    .open(&format!("{}.lcy", &path.display()))  
    .unwrap();
```

Continúa leyendo los contenidos del archivo a cifrar, almacenándolos en un vector de Bytes.

```
let mut contenidos: Vec<u8> = vec![];  
  
file.read_to_end(&mut contenidos).unwrap();
```

Después, genera la matriz asociada a la transformación a realizar de forma aleatoria usando la función `met1_armar_matriz`

```
let mat = met1_armar_matriz(&mut rng);
```

Aplica la transformación a `Bytes` y calcula la inversa de la transformación haciendo uso del método `try_inverse`.

Correspondiente a:

$$key := \text{Bytes} \times T$$

$$inv_{key} := T^{-1}$$

```
let mut key = &bytes * &mat;
let inv_key = mat.clone().try_inverse().unwrap();
```

Continúa obteniendo la congruencia módulo 255 de cada uno de los valores y crea la asociación llave-valor para realizar la sustitución de contenidos más adelante en la ejecución del programa.

```
for i in 0..8usize {
    for j in 0..32usize {
        // Obtener la congruencia módulo 255
        key[(i, j)] = key[(i, j)].rem_euclid(256.0);

        // Insertar llave, valor al HashMap "map"
        map.insert(bytes[(i, j)] as u8, key[(i, j)] as u8);
    }
}
```

Al terminar de armar el `HashMap` de llave-valor, sustituye cada uno de los bytes del archivo original por el indicado en la asociación creada.

```
for i_byte in 0..contenidos.len() {
    // Accedemos por llave al valor a sustituir y lo colocamos en el lugar
    // indicado en el vector "contenidos"
    contenidos[i_byte] = *map.get(&contenidos[i_byte]).unwrap();
}
```

Lo siguiente es preparar la información para que el archivo sea autodescifrable haciendo uso de `lcy`.

Se declaran dos vectores vacíos donde se almacenarán los metadatos antes de escribirlos al archivo final.

```
let mut inv_key_to_write = vec![];
let mut bytes_final_to_write = vec![];
```

Llenamos `inv_key_to_write` con duplas de bytes que indican el estado de la matriz inversa.

Se almacenan duplas de bytes pues es necesario tener un sistema que indique números negativos, puesto que los bytes no representan en sí números negativos.

Si un valor de la matriz es 1 se almacenará como 00 01. El primer 00 indicando que no es negativo, el segundo indicando el valor en la matriz.

Si se tratara del valor -1 se almacenará como 01 01. Indicando que es negativo y que vale 1, por lo tanto, al recuperar el valor de la matriz inversa del archivo se interpretará como que representa un -1.

```

for i in 0..32 { // Almacenaremos cada una de las filas
    for j in 0..32 { // Y cada una de las columnas

        // Calculamos si es negativo o no
        let indicador = if inv_key[(i, j)] < 0.0 { 1u8 } else { 0u8 };

        // Almacenamos solo valores positivos
        let val = if inv_key[(i, j)] < 0.0 {
            -1.0 * inv_key[(i, j)]
        } else {
            inv_key[(i, j)]
        };

        // Añadimos el indicador al vector (00 o 01 para negativo o no)
        inv_key_to_write.push(indicador);

        // Añadimos el valor al vector
        inv_key_to_write.push(val as u8);
    }
}

```

La siguiente metadata a construir es el estado final de Bytes al aplicarle T . Escribimos tal cual cada valores de la matriz cifrada:

```

for i in 0..8 { // Por cada una de las 8 filas
    for j in 0..32 { // Para cada columna
        // Almacenaremos el valor
        bytes_final_to_write.push(key[(i, j)] as u8);
    }
}

```

Con todo listo escribimos la firma del archivo cifrado, los metadatos y el mensaje cifrado al archivo objetivo `NombreArchivo.extension.lcy`.

También eliminamos el archivo original.

```

file2.write_all(&[66u8, 60u8, 10u8, 255u8]).unwrap();
file2.write_all(&inv_key_to_write).unwrap();
file2.write_all(&bytes_final_to_write).unwrap();
file2.write_all(&contenidos).unwrap();

remove_file(path).unwrap();

```

8.2. Descifrado

El código comienza verificando que el archivo a descifrar existe y abriendo 2 archivos. Uno donde colocará el mensaje descifrado y otro donde lee los contenidos a descifrar junto con la *metadata* necesaria.

Si se le pide cifrar `Texto.txt`, entonces abrirá `Texto.txt` y creará `Texto.txt.lcy` para almacenar el resultado.

```

if !path.exists() {
    eprintln!("Error: El archivo {} no existe!", path.display());
}

```

```

        exit(1)
    }

let orig_path = path.as_os_str().to_str().unwrap().replace(".lcy", "");

let mut file_ci = OpenOptions::new()
    ...
    .open(&path)
    .unwrap();

let mut file = OpenOptions::new()
    ...
    .open(&orig_path)
    .unwrap();

```

Continúa leyendo los contenidos del archivo a descifrar, almacenándolos en un vector de Bytes.

```

let mut contenidos: Vec<u8> = vec![];
file_ci.read_to_end(&mut contenidos).unwrap();

```

Ya que tiene los contenidos, verifica que la firma del archivo sea de un archivo cifrado por lcy. En caso de no serlo termina la ejecución del programa

```

if contenidos[0..0x4] != [66u8, 60u8, 10u8, 255u8] {
    eprintln!("Error: No es un archivo válido cifrado");
    exit(1);
}

```

Ya verificada la naturaleza del archivo, crea dos matrices vacías donde se almacenaran la matriz inversa de la matriz asociada de la transformación y la matriz cifrada Bytes.

```

let mut inv = dmatrix![] .resize(32, 32, 0.0);
let mut key = dmatrix![] .resize(8, 32, 0.0);

```

Para hacer más facil la programación descarta los primeros 4 bytes de firma.

```
let contenidos = &contenidos[0x4..];
```

Y extrae los valores que forman la matriz asociada T^{-1} . Lee los contenidos de 2 en 2, analizando indicador y valor y poblando la matriz gradualmente con lo leído.

```

let mut k = 0;
for i in 0..32 {
    for j in 0..32 {
        let neg = contenidos[k] == 0x1;
        let val = (contenidos[k + 1] as i32) * if neg { -1 } else { 1 };

        inv[(i, j)] = val as f32;
        k += 2;
    }
}

```

Como se terminaron de analizar los bytes que constituyen la matriz inversa se descartan:

```
let contenidos = &contenidos[k..];
```

Ahora lee los valores transformados de Bytes

```
let mut k = 0;
for i in 0..8 {
    for j in 0..32 {
        key[(i, j)] = contenidos[k] as f32;
        k += 1;
    }
}
```

Aplicamos la transformación

$$orig := \text{BytesCifrados} \times T^{-1}$$

Y armamos la asociación llave-valor que describe las sustituciones necesarias para descifrar los contenidos del archivo original.

Para conservar la integridad de los datos obtenemos las congruencias módulo 255

$$orig := \text{BytesCifrados} \times T^{-1} \pmod{255}$$

```
// Aplicamos la transformación inversa, regresando al estado original
let mut orig = &key * &inv;

for i in 0..8usize {
    for j in 0..32usize {

        // Obtenemos el múltiplo entero
        orig[(i, j)] = orig[(i, j)].rem_euclid(256.0);

        // Agregamos al HashMap llave y valor
        map.insert(key[(i, j)] as u8, orig[(i, j)] as u8);
    }
}
```

Sustituimos los valores por los descritos en el HashMap

```
let mut contenidos = contenidos[k..].to_vec();

for i_byte in 0..contenidos.len() {
    contenidos[i_byte] = *map.get(&contenidos[i_byte]).unwrap();
}
```

Y por último escribimos el resultado en un archivo con el nombre original. Eliminamos a su vez el archivo cifrado

```
file.write_all(&contenidos).unwrap();
remove_file(path).unwrap();
```

8.3. Ejecución

Contamos con un archivo `texto.txt` que cuenta con el texto:

Este es un mensaje super secreto!

Cuyos bytes se ven de la forma:

```
C3 89 73 74 65 20 65 73 20 75 6E 20 6D 65 6E 73 61 6A 65 20 73 75 70 65 72 20  
73 65 63 72 65 74 6F 21 0A 0A
```

Después de ejecutar la herramienta de cifrado por medio del comando:

```
lcy cypher texto.txt
```

Obtenemos un archivo llamado `texto.txt.lcy` que contiene:

```
"      B<  
?????????????????????????????????????  
?>??????????????????????????????????????"  
B?~?~?????????????  
????????????b??}d{zghwvulmropqnsstkjixyfe/c?a?_?]D[\  
ZGHWVULMROPQNSTKJIXYFE \\ C  
?A???=£; : '(765,-2/01.34+*)89€%<#?!??  
  
?=w??? ?? ?? ??????? ???? ??????????"
```

Cuyos bytes se ven de la forma en que se muestra en el Apéndice G

Se puede distinguir la firma del archivo:

```
42 3C 0A FF
```

Después una larga lista de 00 y 01 que describen la matriz inversa seguido de los 32 * 8 bytes que describen BytesCifrados

```
FF 1E FD E4 FB FA E7 E8 F7 F6 F5 EC ED F2 EF F0 F1 EE F3 F4 EB EA E9 F8 F9 E6  
E5 FC E3 02 E1 20 DF 3E DD C4 DB DA C7 C8 D7 D6 D5 CC CD D2 CF D0 D1 CE D3 D4  
CB CA C9 D8 D9 C6 C5 DC C3 22 C1 40 BF 5E BD A4 BB BA A7 A8 B7 B6 B5 AC AD B2  
AF B0 B1 AE B3 B4 AB AA A9 B8 B9 A6 A5 BC A3 42 A1 60 9F 7E 9D 84 9B 9A 87 88  
97 96 95 8C 8D 92 8F 90 91 8E 93 94 8B 8A 89 98 99 86 85 9C 83 62 81 80 7F 9E  
7D 64 7B 7A 67 68 77 76 75 6C 6D 72 6F 70 71 6E 73 74 6B 6A 69 78 79 66 65 7C  
63 82 61 A0 5F BE 5D 44 5B 5A 47 48 57 56 55 4C 4D 52 4F 50 51 4E 53 54 4B 4A  
49 58 59 46 45 5C 43 A2 41 C0 3F DE 3D 24 3B 3A 27 28 37 36 35 2C 2D 32 2F 30  
31 2E 33 34 2B 2A 29 38 39 26 25 3C 23 C2 21 E0 1F FE 1D 04 1B 1A 07 08 17 16  
15 0C 0D 12 0F 10 11 0E 13 14 0B 0A 09 18 19 06 05 1C 03 E2 01
```

Y por último los 0x24 bytes del mensaje cifrado

```
3D 77 93 94 9B 20 9B 93 20 8B 92 20 8D 9B 92 93 9F 96 9B 20 93 8B 90 9B 8E 20  
93 9B 9D 8E 9B 94 8F DF F6 F6
```

A continuación se puede apreciar la diferencia de bytes entre dos archivos. Uno cifrado por el mismo algoritmo y su versión original

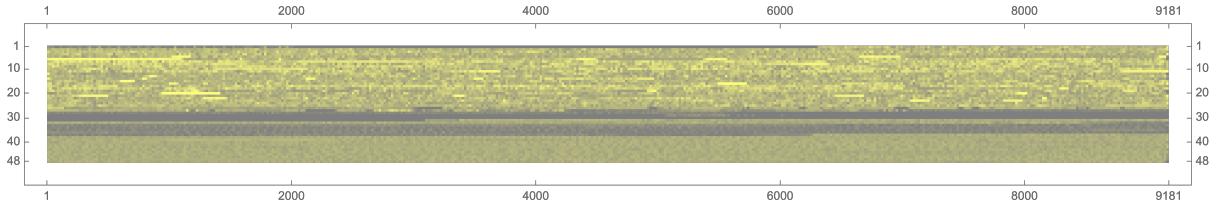


Figura 5: Visualización de los bytes del archivo original. M

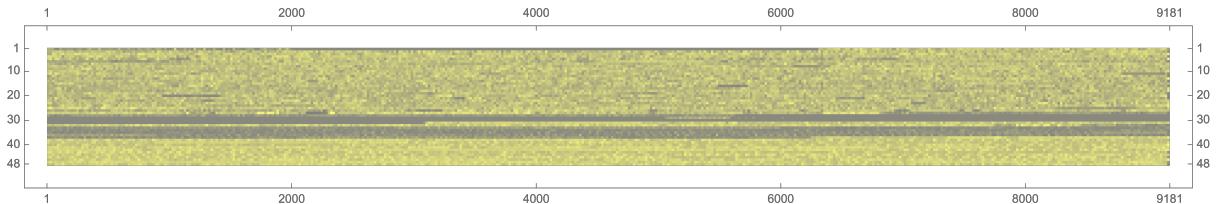


Figura 6: Visualización de los bytes del archivo cifrado. N

Todos los puntos grises y amarillos de la figura 7 son los bytes que no cambiaron, si lo hicieron los suficientes para que el archivo no sea reconocible por ningún programa como el ejecutable que era.

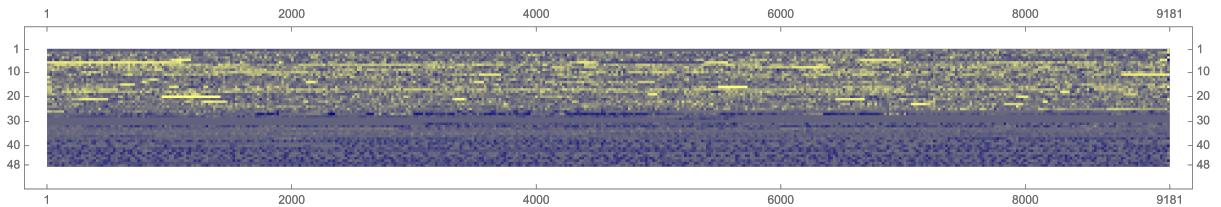


Figura 7: $M - N$

Para quien abre el archivo, las claves de qué se trata son pocas, aún más desconociendo la existencia de la herramienta (lcy)

9. Discusión de Resultados

9.1. Descifrado por histogramas

La mayor vulnerabilidad que presenta este método de cifrado es que la frecuencia de bytes presentes es la misma debido a que no estamos sacrificando ninguna pérdida de información y, por lo tanto, solo sustituimos los valores.

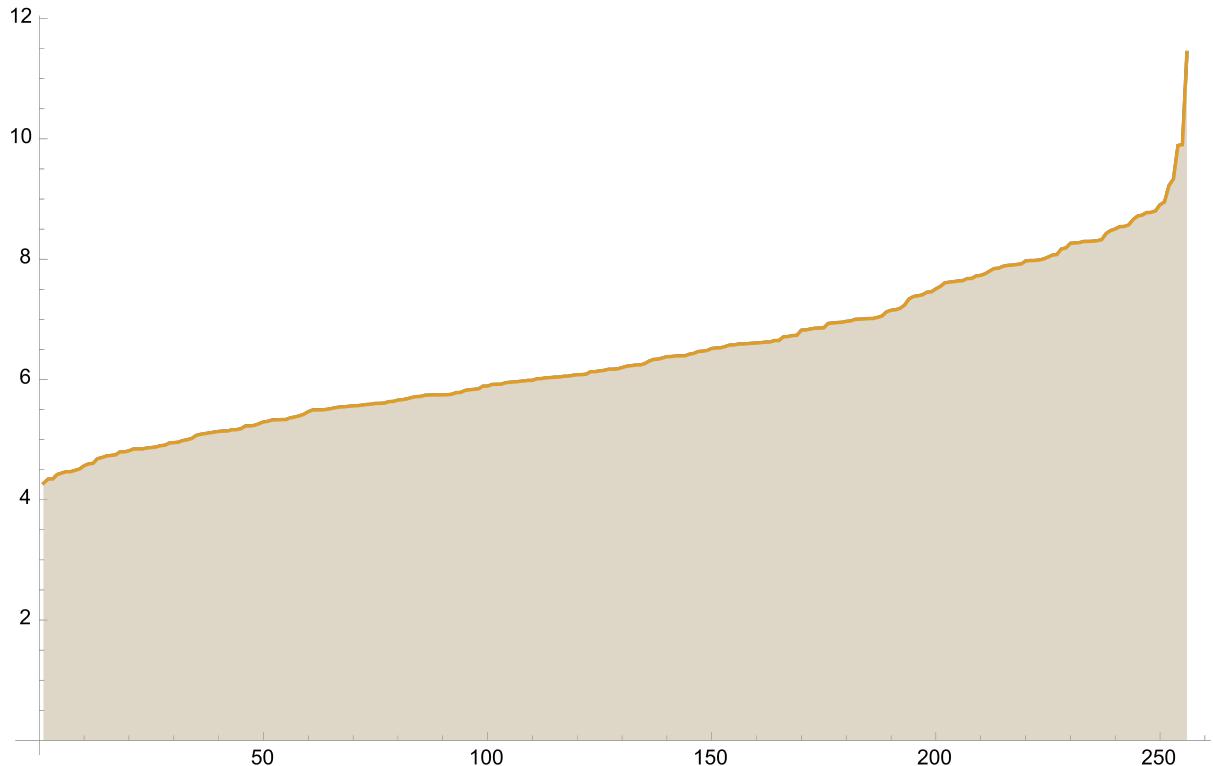


Figura 8: Histograma de los bytes del archivo original y el cifrado.

En la figura 8, se muestra la sobre posición de los histogramas de bytes del documento antes y después de cifrado. Ambos son idénticos. Si el documento está escrito en Inglés o contuviera las instrucciones de cierta arquitectura, y se conoce la frecuencia de bytes, el mensaje puede ser descifrado.

Todo lo anterior en caso de que el posible atacante supiera que el cifrado se hace desde nivel de bytes. Si alguien intentara hacer un histograma de los caracteres del archivo original con el cifrado se encontraría con:

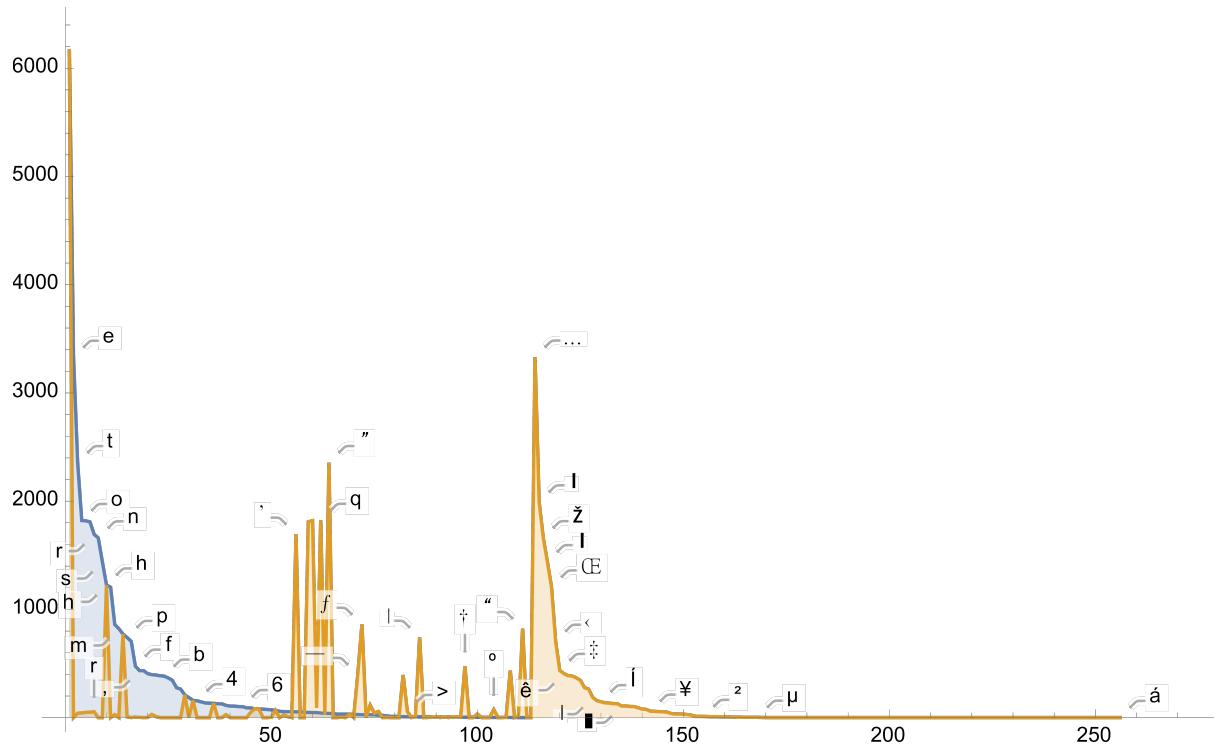


Figura 9: Histograma de los caracteres humanamente leíbles del archivo original y el cifrado.

Si ordenamos por aparición y aplicamos el logaritmo natural de los valores es más fácil apreciar:

```
With[
{assoc = CharacterCounts[baa], assoc2 = CharacterCounts[bxx]},
ListLinePlot[
{
Log[KeySortBy[assoc, assoc[#] &]],
Log[KeySortBy[assoc2, assoc2[#] &]]
},
Filling -> Axis, PlotRange -> Full, ImageSize -> Large
]
]
```

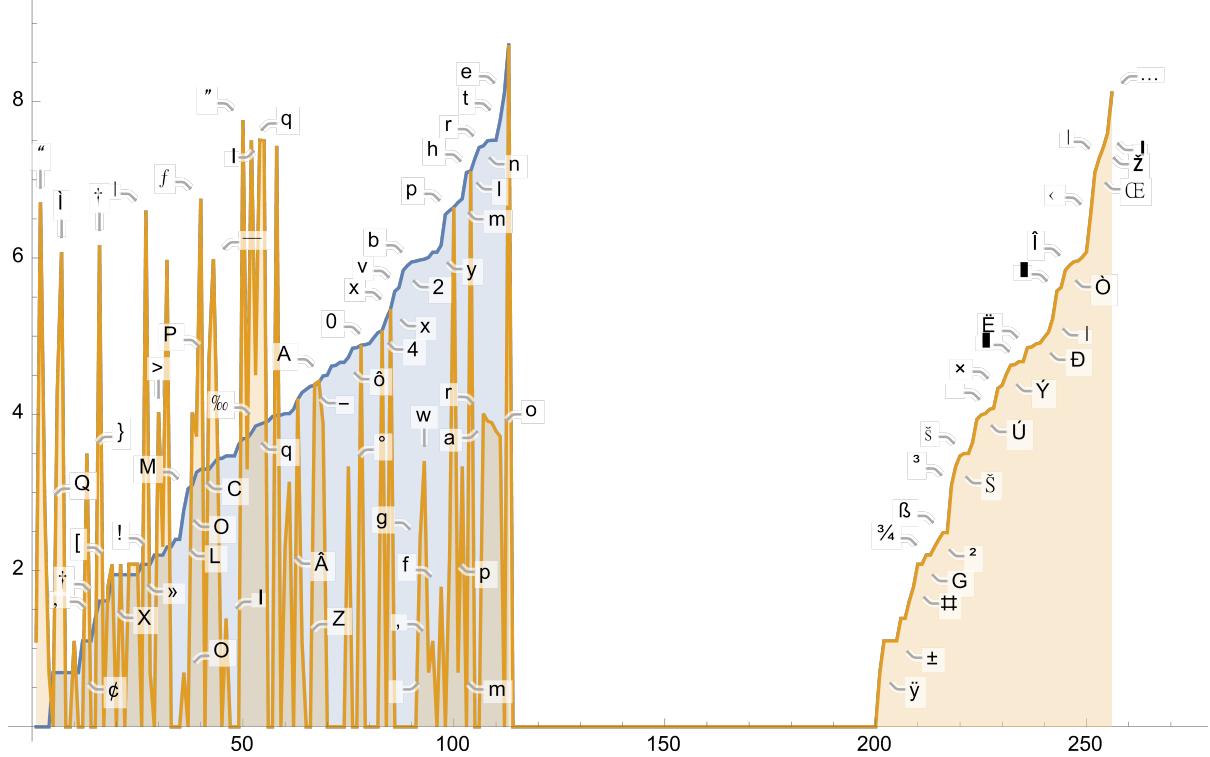


Figura 10: Histograma de los caracteres humanamente leíbles del archivo original y el cifrado.

Donde es claro el caos resultado del cifrado del archivo. En la situación donde alguien malicioso desee descifrarlo por comparación de histogramas de caracteres, no hay posibilidad de que sea logrado.

El método 2, aunque promete ser aún más seguro permitiendo la generación de histogramas sin ningún sentido, requiere más recursos del computador donde se utiliza. Si se quiere cifrar una base de datos de 1 GB se necesitará aproximadamente 200 MB para contener los archivos además de la memoria necesaria para manejar la creación de la matriz aleatoria en el tiempo de ejecución.

El método 1 es más *ligero* en comparación al método 2 aunque signifique que es más seguro de romper.

9.2. Vulnerabilidades de almacenamiento

La herramienta que desarrollamos almacena y captura los datos de cifrado del mismo archivo donde se encuentra el cifrado, por ello, cualquier persona que sepa que se usó 1cy para cifrar el archivo puede descifrar el archivo. Hace falta algún sistema de contraseñas, puede que a cada tecla se le pueda asignar una transformación sencilla que se genera aleatoriamente.

De forma en que el algoritmo cifrado pasaría a ser:

$$\text{BytesCifrados} \times T^{-1} \times \text{Pass} \equiv \text{Bytes}$$

Otra forma de ampliar la seguridad de la herramienta es escribir en múltiples archivos.

Un archivo para la inversa de la transformación, un archivo para BytesCifrados y un archivo para el mensaje cifrado en lugar de colocarlo en uno solo, de esa forma sólo el usuario que cifra el mensaje sabe cuáles son los archivos necesarios para descifrarlo en su computador.

10. Conclusiones y Recomendaciones

Como pudimos observar en todo el documento la importancia del álgebra lineal en nuestras vidas cotidianas, como pueden ser en distintos aspectos, aunque en esta ocasión nos quisimos centrar en la importancia que tiene este en la ciberseguridad.

Pero viviendo en una época en donde ocurren muchos ataques y como cualquier persona almacena cualquier tipo de información en sus dispositivos móviles o en sus computadoras, una capa más de seguridad no afectaría a nadie.

Las transformaciones resultan una herramienta invaluable para producir algoritmos sencillos y efectivos de cifrado y descifrado de archivos, imágenes, etc. Es trivial manipular la información cuando se razona desde el punto de vista de ser una matriz.

Está claro que falta explorar más formas de desarrollar el algoritmo para disminuir las posibilidades de que agentes externos entiendan información sensible que se encuentre almacenada.

Entre las mejoras a implementar se encuentra eliminar la posibilidad de descifrado por medio de histogramas de los bytes. Creemos que el método 2 estudiado en la experimentación es capaz de lograrlo.

Además, mejorar la base de código para que cada pieza necesaria sea almacenada en un archivo distinto para ser usados como llaves y la posibilidad de asociar matrices a caracteres para aumentar la seguridad aún más.

Aunque se cumplió el objetivo de implementar una herramienta de cifrado y descifrado a nivel de bytes usando transformaciones y matrices, creemos que queda abierto el espacio para seguir investigando.

11. Bibliografía

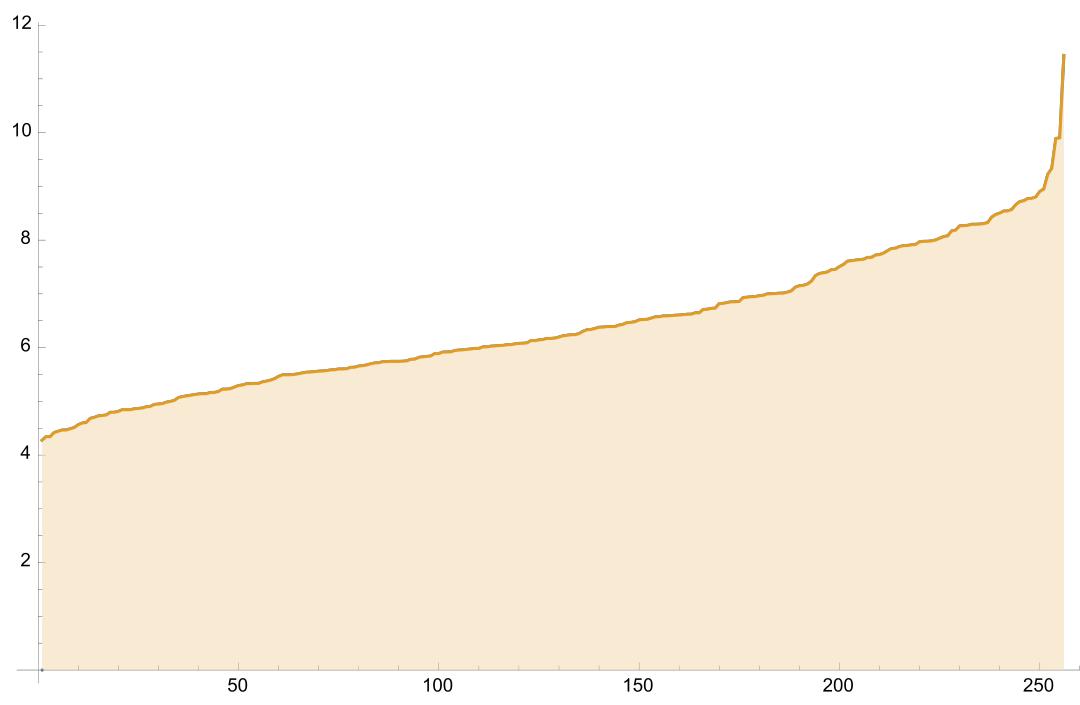
1. *¿Qué es un bit?* (s.f.). Consultado el 28 de abril de 2022, desde <https://www.jvs-informatica.com/blog/glosario/bit/>
2. *¿Qué es un byte?* (s.f.). Consultado el 28 de abril de 2022, desde <https://www.jvs-informatica.com/blog/glosario/byte/>
3. *Archivo en informática.* (s.f.). Consultado el 28 de abril de 2022, desde <https://concepto.de/archivo-informatico/>
4. *Aritmética modular.* (s.f.). https://es.wikipedia.org/wiki/Aritm%C3%A9tica_modular
5. Eisenberg, M. (1999). *Hill Ciphers and Modular Linear Algebra.* <https://apprendre-en-ligne.net/crypto/hill/Hillciph.pdf>

A. Appendix

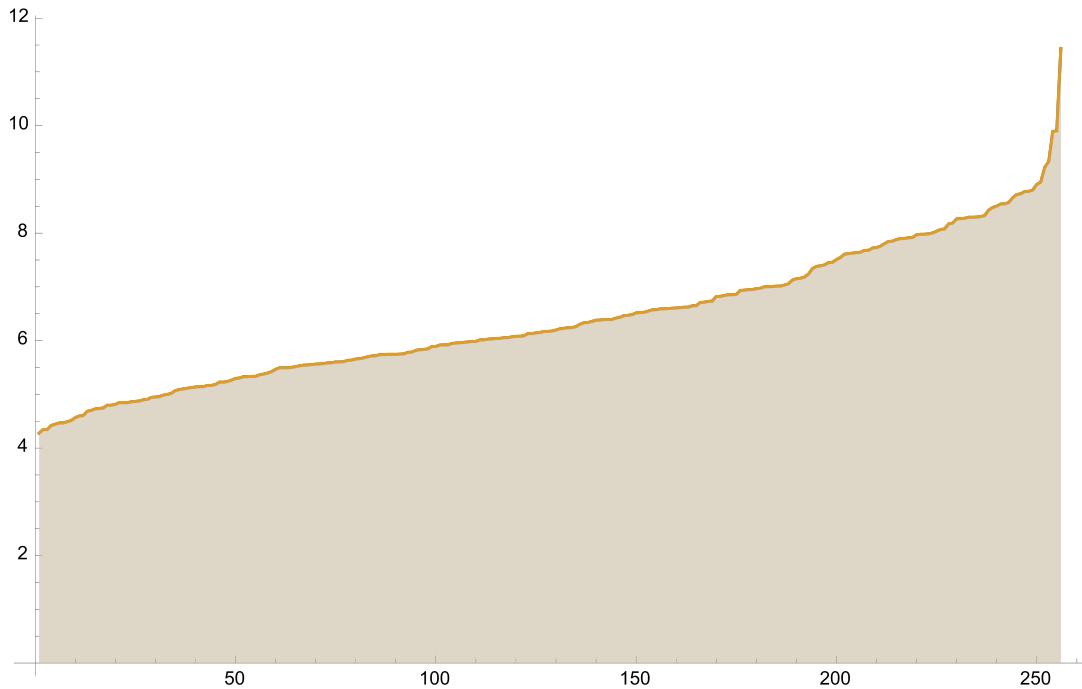
Comparación de histograma de las ocurrencias de bytes entre un arreglo de bytes y su versión cifrada por el Método 1



Histograma de los bytes del archivo original y el cifrado.



Histograma de los bytes del archivo cifrado.



Histograma de los bytes del archivo original y el cifrado.

Gráficas elaboradas en Mathematica 13 con el código:

```

1 Show[
2   With[
3     {
4       assoc = CountRepetitions[baa],
5       assoc2 = CountRepetitions[Flatten[bx]]
6     },
7
8     ListLinePlot[
9       {
10         KeyValueMap[Log[#2] &]@KeySortBy[assoc, assoc[#] &],
11         KeyValueMap[Log[#2] &]@KeySortBy[assoc2, assoc2[#] &]
12       },
13       Filling -> Axis,
14       PlotRange -> Full,
15       ImageSize -> Large
16     ]
17   ]
18 ]

```

donde `baa` es un arreglo de bytes contenido el estado del archivo original y donde `bx` es una matriz que se usa como arreglo de bytes que contiene el estado cifrado de los contenidos de donde `baa`.

B. Appendix

```
1 pub fn met1_armar_matriz(rng: &mut ThreadRng) -> DMatrix<f32> {
2     let mut resultado: DMatrix<f32> = dmatrix![] .resize(32, 32, 0.0);
3
4     let mut switch: [bool; 32] = [false; 32];
5     let mut neg: [bool; 32] = [false; 32];
6
7     for col in 1..32 / 2 {
8         if rng.gen::<u8>() % 2 == 0 {
9             switch[col] = true;
10            switch[31 - (col - 1)] = true;
11        }
12
13        if rng.gen::<u8>() % 5 == 0 {
14            neg[col] = true;
15            neg[31 - (col - 1)] = true;
16        }
17    }
18
19    resultado[(0, 0)] = 1.0;
20
21    for col in 1..32 {
22        if switch[col] {
23            resultado[(col, 31 - (col - 1))] = if neg[col] { 1.0 } else { -1.0 };
24        } else {
25            resultado[(col, col)] = if neg[col] { 1.0 } else { -1.0 };
26        }
27    }
28
29    let switch_mat: DMatrix<bool> = DMatrix::from_vec(1, 32, Vec::from(switch));
30
31    resultado
32 }
```

C. Appendix

```
1 extern crate nalgebra as na;
2
3 use divisors::get_divisors;
4 use lcy::*;
5 use std::collections::HashMap;
6 use std::fs::{remove_file, OpenOptions};
7 use std::io::{Read, Seek, Write};
8 use std::process::exit;
9
10 use na::{dmatrix, DMatrix};
11
12 fn main() {
13     let mut rng = rand::thread_rng();
14     let args: Args = Args::parse();
15
16     let mut map: HashMap<u8, u8> = HashMap::new();
17
18     match args.command {
19         Commands::Cypher { path } => {
20             let bytes: DMatrix<f32> = dmatrix![ ... ];
21
22             if !path.exists() {
23                 eprintln!("Error: El archivo {} no existe!", path.display());
24                 exit(1)
25             }
26
27             let mut file = OpenOptions::new()
28                 .read(true)
29                 .write(true)
30                 .create(false)
31                 .open(&path)
32                 .unwrap();
33
34             let mut file2 = OpenOptions::new()
35                 .write(true)
36                 .create(true)
37                 .truncate(true)
38                 .open(&format!("{}.lcy", &path.display()))
39                 .unwrap();
40
41             let mut contenidos: Vec<u8> = vec![];
42
43             file.read_to_end(&mut contenidos).unwrap();
44
45             let mat = met1_armar_matriz(&mut rng);
46             let mut key = &bytes * &mat;
47             let inv_key = mat.clone().try_inverse().unwrap();
48
49             for i in 0..8usize {
50                 for j in 0..32usize {
51                     key[(i, j)] = key[(i, j)].rem_euclid(256.0);
52                     map.insert(bytes[(i, j)] as u8, key[(i, j)] as u8);
53                 }
54             }
55
56 }
```

```

55
56     for i_byte in 0..contenidos.len() {
57         contenidos[i_byte] = *map.get(&contenidos[i_byte]).unwrap();
58     }
59
60     let mut inv_key_to_write = vec![];
61     let mut bytes_final_to_write = vec![];
62     for i in 0..32 {
63         for j in 0..32 {
64             let indicador = if inv_key[(i, j)] < 0.0 { 1u8 } else { 0u8 };
65                 let val = if inv_key[(i, j)] < 0.0 {
66                     -1.0 * inv_key[(i, j)]
67                 } else {
68                     inv_key[(i, j)]
69                 };
70
71                 inv_key_to_write.push(indicador);
72                 inv_key_to_write.push(val as u8);
73             }
74         }
75
76         for i in 0..8 {
77             for j in 0..32 {
78                 bytes_final_to_write.push(key[(i, j)] as u8);
79             }
80         }
81
82         file2.write_all(&[66u8, 60u8, 10u8, 255u8]).unwrap();
83         file2.write_all(&inv_key_to_write).unwrap();
84         file2.write_all(&bytes_final_to_write).unwrap();
85         file2.write_all(&contenidos).unwrap();
86
87         remove_file(path).unwrap();
88     }
89     Commands::Decipher { path } => { ... }
90 }
91 }
```

D. Appendix

```
1 extern crate nalgebra as na;
2
3 use divisors::get_divisors;
4 use lcy::::*;
5 use std::collections::HashMap;
6 use std::fs::{remove_file, OpenOptions};
7 use std::io::{Read, Seek, Write};
8 use std::process::exit;
9
10 use na::{dmatrix, DMatrix};
11
12 fn main() {
13     let mut rng = rand::thread_rng();
14     let args: Args = Args::parse();
15
16     let mut map: HashMap<u8, u8> = HashMap::new();
17
18     match args.command {
19         Commands::Cypher { path } => { ... }
20         Commands::Decipher { path } => {
21             if !path.exists() {
22                 eprintln!("Error: El archivo {} no existe!", path.display());
23                 exit(1)
24             }
25
26             let orig_path = path.as_os_str().to_str().unwrap().replace(".lcy", "");
27
28             let mut file_ci = OpenOptions::new()
29                 .read(true)
30                 .write(true)
31                 .create(false)
32                 .open(&path)
33                 .unwrap();
34
35             let mut file = OpenOptions::new()
36                 .read(true)
37                 .write(true)
38                 .truncate(true)
39                 .create(true)
40                 .open(&orig_path)
41                 .unwrap();
42
43             let mut contenidos: Vec<u8> = vec![];
44
45             file_ci.read_to_end(&mut contenidos).unwrap();
46
47             if contenidos[0..0x4] != [66u8, 60u8, 10u8, 255u8] {
48                 eprintln!("Error: No es un archivo válido cifrado");
49                 exit(1);
50             }
51
52             let mut inv = dmatrix![] .resize(32, 32, 0.0);
53             let mut key = dmatrix![] .resize(8, 32, 0.0);
54 }
```

```

55     let contenidos = &contenidos[0x4..];
56
57     let mut k = 0;
58     for i in 0..32 {
59         for j in 0..32 {
60             let neg = contenidos[k] == 0x1;
61             let val = (contenidos[k + 1] as i32) * if neg { -1 } else { 1 };
62
63             inv[(i, j)] = val as f32;
64             k += 2;
65         }
66     }
67
68     let contenidos = &contenidos[k..];
69
70     let mut k = 0;
71     for i in 0..8 {
72         for j in 0..32 {
73             key[(i, j)] = contenidos[k] as f32;
74             k += 1;
75         }
76     }
77
78     let mut orig = &key * &inv;
79
80     for i in 0..8usize {
81         for j in 0..32usize {
82             orig[(i, j)] = orig[(i, j)].rem_euclid(256.0);
83             map.insert(key[(i, j)] as u8, orig[(i, j)] as u8);
84         }
85     }
86
87     let mut contenidos = contenidos[k..].to_vec();
88
89     for i_byte in 0..contenidos.len() {
90         contenidos[i_byte] = *map.get(&contenidos[i_byte]).unwrap();
91     }
92
93     file.write_all(&contenidos).unwrap();
94     remove_file(path).unwrap();
95 }
96 }
97 }
```

E. Appendix: Código completo

El código está también disponible en GitHub: <https://github.com/A0x0/lcy>

```
1 extern crate nalgebra as na;
2
3 use std::collections::HashMap;
4 use std::fs::{remove_file, OpenOptions};
5 use std::io::{Read, Write};
6 use std::process::exit;
7
8 use na::{dmatrix, DMatrix};
9
10 pub use clap::{Parser, Subcommand};
11 use rand::rngs::ThreadRng;
12 use rand::Rng;
13 use std::path::PathBuf;
14
15 #[derive(Parser)]
16 #[clap(version)]
17 pub struct Args {
18     #[clap(subcommand)]
19     pub command: Commands,
20 }
21
22 #[derive(Subcommand, Debug)]
23 pub enum Commands {
24     /// Cypher any file with lcy
25     #[clap(visible_alias = "c")]
26     Cypher {
27         /// Name of the file to cypher
28         path: PathBuf,
29     },
30     /// Decipher a lcy file
31     #[clap(visible_alias = "d")]
32     Decipher {
33         /// Name of the file to decipher
34         path: PathBuf,
35     },
36 }
37
38 pub fn met1_armar_matriz(rng: &mut ThreadRng) -> DMatrix<f32> {
39     let mut resultado: DMatrix<f32> = dmatrix![] .resize(32, 32, 0.0);
40
41     let mut switch: [bool; 32] = [false; 32];
42     let mut neg: [bool; 32] = [false; 32];
43
44     for col in 1..32 / 2 {
45         if rng.gen::<u8>() % 2 == 0 {
46             switch[col] = true;
47             switch[31 - (col - 1)] = true;
48         }
49
50         if rng.gen::<u8>() % 5 == 0 {
51             neg[col] = true;
52             neg[31 - (col - 1)] = true;
53     }
54 }
```

```

53         }
54     }
55
56     resultado[(0, 0)] = 1.0;
57
58     for col in 1..32 {
59         if switch[col] {
60             resultado[(col, 31 - (col - 1))] = if neg[col] { 1.0 } else { -1.0 };
61         } else {
62             resultado[(col, col)] = if neg[col] { 1.0 } else { -1.0 };
63         }
64     }
65
66     resultado
67 }
68
69 fn main() {
70     let mut rng = rand::thread_rng();
71     let args: Args = Args::parse();
72
73     let mut map: HashMap<u8, u8> = HashMap::new();
74
75     match args.command {
76         Commands::Cypher { path } => {
77             let bytes: DMatrix<f32> = dmatrix![ ... ];
78
79             if !path.exists() {
80                 eprintln!("Error: El archivo {} no existe!", path.display());
81                 exit(1)
82             }
83
84             let mut file = OpenOptions::new()
85                 .read(true)
86                 .write(true)
87                 .create(false)
88                 .open(&path)
89                 .unwrap();
90
91             let mut file2 = OpenOptions::new()
92                 .write(true)
93                 .create(true)
94                 .truncate(true)
95                 .open(&format!("{}.lcy", &path.display()))
96                 .unwrap();
97
98             let mut contenidos: Vec<u8> = vec![];
99
100            file.read_to_end(&mut contenidos).unwrap();
101
102            let mat = met1_armar_matriz(&mut rng);
103            let mut key = &bytes * &mat;
104            let inv_key = mat.clone().try_inverse().unwrap();
105
106            for i in 0..8usize {
107                for j in 0..32usize {
108                    key[(i, j)] = key[(i, j)].rem_euclid(256.0);

```

```

109             map.insert(bytes[(i, j)] as u8, key[(i, j)] as u8);
110         }
111     }
112
113     for i_byte in 0..contenidos.len() {
114         contenidos[i_byte] = *map.get(&contenidos[i_byte]).unwrap();
115     }
116
117     let mut inv_key_to_write = vec![];
118     let mut bytes_final_to_write = vec![];
119     for i in 0..32 {
120         for j in 0..32 {
121             let indicador = if inv_key[(i, j)] < 0.0 { 1u8 } else { 0u8 };
122                 let val = if inv_key[(i, j)] < 0.0 {
123                     -1.0 * inv_key[(i, j)]
124                 } else {
125                     inv_key[(i, j)]
126                 };
127
128                 inv_key_to_write.push(indicador);
129                 inv_key_to_write.push(val as u8);
130             }
131         }
132
133         for i in 0..8 {
134             for j in 0..32 {
135                 bytes_final_to_write.push(key[(i, j)] as u8);
136             }
137         }
138
139         file2.write_all(&[66u8, 60u8, 10u8, 255u8]).unwrap();
140         file2.write_all(&inv_key_to_write).unwrap();
141         file2.write_all(&bytes_final_to_write).unwrap();
142         file2.write_all(&contenidos).unwrap();
143
144         remove_file(path).unwrap();
145     }
146     Commands::Decipher { path } => {
147         if !path.exists() {
148             eprintln!("Error: El archivo {} no existe!", path.display());
149             exit(1)
150         }
151
152     let orig_path = path.as_os_str().to_str().unwrap().replace(".lcy", "");
153
154     let mut file_ci = OpenOptions::new()
155         .read(true)
156         .write(true)
157         .create(false)
158         .open(&path)
159         .unwrap();
160
161     let mut file = OpenOptions::new()
162         .read(true)
163         .write(true)
164         .truncate(true)

```

```

165     .create(true)
166     .open(&orig_path)
167     .unwrap();
168
169     let mut contenidos: Vec<u8> = vec![];
170
171     file_ci.read_to_end(&mut contenidos).unwrap();
172
173     if contenidos[0..0x4] != [66u8, 60u8, 10u8, 255u8] {
174         eprintln!("Error: No es un archivo válido cifrado");
175         exit(1);
176     }
177
178     let mut inv = dmatrix![] .resize(32, 32, 0.0);
179     let mut key = dmatrix![] .resize(8, 32, 0.0);
180
181     let contenidos = &contenidos[0x4..];
182
183     let mut k = 0;
184     for i in 0..32 {
185         for j in 0..32 {
186             let neg = contenidos[k] == 0x1;
187             let val = (contenidos[k + 1] as i32) * if neg { -1 } else { 1 };
188
189             inv[(i, j)] = val as f32;
190             k += 2;
191         }
192     }
193
194     let contenidos = &contenidos[k..];
195
196     let mut k = 0;
197     for i in 0..8 {
198         for j in 0..32 {
199             key[(i, j)] = contenidos[k] as f32;
200             k += 1;
201         }
202     }
203
204     let mut orig = &key * &inv;
205
206     for i in 0..8usize {
207         for j in 0..32usize {
208             orig[(i, j)] = orig[(i, j)].rem_euclid(256.0);
209             map.insert(key[(i, j)] as u8, orig[(i, j)] as u8);
210         }
211     }
212
213     let mut contenidos = contenidos[k..].to_vec();
214
215     for i_byte in 0..contenidos.len() {
216         contenidos[i_byte] = *map.get(&contenidos[i_byte]).unwrap();
217     }
218
219     file.write_all(&contenidos).unwrap();
220     remove_file(path).unwrap();

```

```
221      }
222      }
223      }
224
```

F. Appendix: Notebook de Mathematica completo y repositorio de LaTeX

1. El cuaderno está disponible en GitHub,
junto con todas las imágenes: <https://github.com/A0x0/proyecto-al>
2. El repositorio de código de LaTeX para crear
este escrito está disponible en
<https://www.overleaf.com/read/gkdvygxgntsh> y en <https://github.com/A0x0/proyecto-al>

