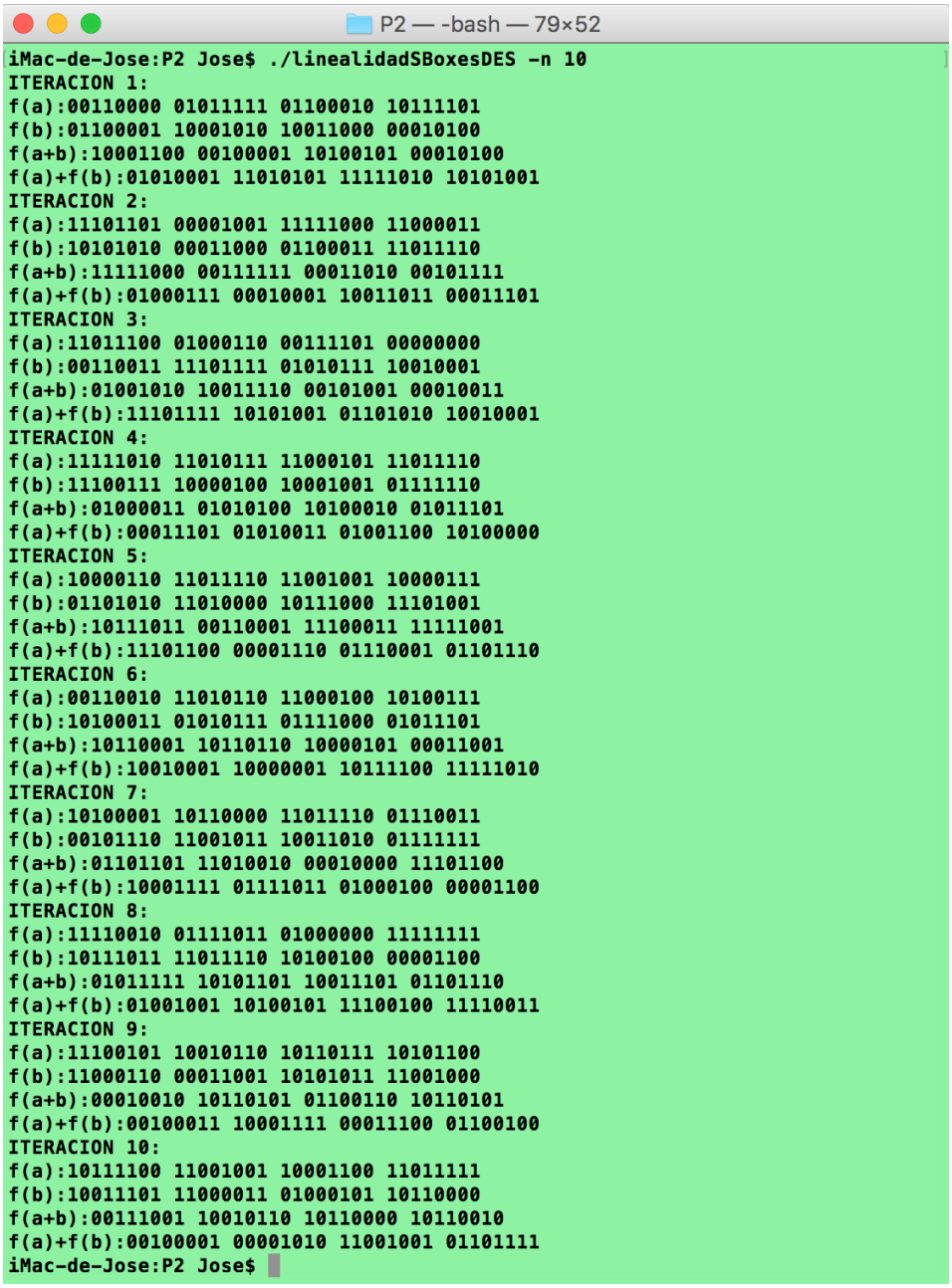
Las cajas de sustitución (cajas *S)* constituyen la piedra angular en criptografía para lograr que los cifradores por bloque exhiban la ineludible propiedad de no linealidad. En efecto, si la o las cajas *S* de un determinado cifrador por bloque no alcanzan una alta no linealidad, entonces se considera que tal algoritmo no podrá ofrecer una seguridad adecuada para impedir que información confidencial pueda ser develada por entidades no autorizadas.

Dada su definición, es claro que el número de funciones booleanas elegibles para diseñar una caja *S* de *n* bits de entrada y *m* bits de salida está dado por 2^{m2^n}, de tal manera que aun para valores moderados de *n* y *m* el tamaño del espacio de búsqueda de este problema tiene un tamaño desmesurado.

Sin embargo, no todas las funciones booleanas son apropiadas para construir buenas cajas *S*. Además de la ya mencionada propiedad de no linealidad, algunas de las principales propiedades criptográficas requeridas para dichas funciones booleanas incluyen: balance, alto grado algebraico, criterio de avalancha estricto, orden de inmunidad, etcétera.

Durante el desarrollo de esta práctica hemos aprovechado las cajas S de los algoritmos DES y AES para crear dos rutinas en C que demuestran la no linealidad de estas funciones booleanas. Estas dos rutinas han sido llamadas **linealidadSBoxesDES** y **linealidadSBoxesAES**. Ambas rutinas reciben como argumento de ejecución "-n N", donde *N* es un número natural que indica el número de veces que se quiere probar la no linealidad. La salida de estos dos programas se incluye a continuación para N=10:

```
iMac-de-Jose:P2 Jose$ ./linealidadSBoxesAES -n 10
ITERACION 1:
a=c9
b=80
f(a)=dd
f(b)=cd
f(a+b)=3b
f(a)+f(b)=aa
ITERACION 2:
a=2f
b=5e
f(a)=15
f(b)=58
f(a+b)=5d
f(a)+f(b)=6d
ITERACION 3:
a=df
b=94
f(a)=9e
f(b)=22
f(a+b)=8f
f(a)+f(b)=c0
ITERACION 4:
a=d5
b=42
f(a)=3
f(b)=2c
f(a+b)=f0
f(a)+f(b)=2f
ITERACION 5:
a=85
b=b5
f(a)=97
f(b)=d5
f(a+b)=80
f(a)+f(b)=6c
ITERACION 6:
a=65
b=26
f(a)=4d
f(b)=f7
f(a+b)=3d
f(a)+f(b)=44
ITERACION 7:
a=fa
b=71
f(a)=2d
f(b)=a3
f(a+b)=7f
f(a)+f(b)=d0
ITERACION 8:
a=74
b=47
f(a)=92
f(b)=a0
f(a+b)=ea
f(a)+f(b)=32
ITERACION 9:
a=81
b=82
f(a)=c
f(b)=13
f(a+b)=7b
f(a)+f(b)=1f
ITERACION 10:
a=61
b=db
f(a)=ef
f(b)=b9
f(a+b)=eb
f(a)+f(b)=a8
iMac-de-Jose:P2 Jose$
```



Para comprobar la no linealidad de las SBOXES en ambos casos, basta con fijarse en que se cumple la siguiente igualdad:

f(a)+f(b)=f(a+b)+K;

Donde K sería lo que llamaríamos constante de no linealidad (si fuese 0 la función sería lineal).

En resumen, los principales criterios para construir unas buenas S-Boxes son los siguientes:

- **Balance**:Esta propiedad es muy deseable para evitar ataques cripto-diferenciales tales como los introducidos por A. Shamir contra el algoritmo DES

- **Alta no linealidad:** Esta propiedad reduce el efecto de los ataques por criptoanálisis lineal. Como se discutió antes, la no linealidad de una función booleana puede ser calculada directamente de la transformada de Walsh-Hadamard

- **Autocorrelación:** Este valor es proporcional al desbalance de todas las derivadas de primer orden de la función booleana. Valores pequeños son considerados como buenos mientras que un valor grande es considerado un símbolo de debilidad.
  Las funciones curvas gozan de una autocorrelación mínima, por lo que optimizan esta propiedad.

- **Indicador absoluto:** Indicador absoluto de una función booleana denotado por *M*(*f*) está dado por $|r_{max}|$ el máximo valor absoluto en $r_{\hat{f}}(s)$. Se considera que una función booleana con un *M*(*f*) pequeño es criptográficamente deseable. Nuevamente las funciones curvas son las mejores, ya que su indicador absoluto es 0.

- **Efecto avalancha:** Está relacionado con la autocorrelación y se define con respecto a un bit específico de entrada tal que al complementarlo resulta en un cambio en el bit de salida con una probabilidad de 1/2. El criterio de avalancha estricto (SAC por sus siglas en inglés), requiere los efectos avalancha de todos los bits de entrada. Se dice que una función booleana satisface el criterio de avalancha estricto si al complementar un solo bit de entrada resulta en un cambio en un bit de salida con una probabilidad de 1/2. Puede demostrarse fácilmente que una función booleana *f* con función de autocorrelación $r_{\hat{f}}(s)$, satisface el criterio de avalancha estricto si y sólo si $r_{\hat{f}}(s) = 0$ para toda *s* con peso de Hamming *H*(*s*)=1