Seguridad

Sistemas Operativos
DC - UBA - FCEN

8 de octubre de 2015

Problemas de seguridad

Dicho popular

Todo programa tiene bugs hasta que se demuestre lo contrario.

Problemas de seguridad

Dicho popular

Todo programa tiene bugs hasta que se demuestre lo contrario.

Veamos el **primer** programa de ejemplo de todo programador.

primero.c

```
1  #include <stdio.h>
2
3  int main(int argc, char* argv[]) {
4      printf("Hola mundo!\n");
5      return 0;
6  }
```

Este parace ser correcto.

Problemas de seguridad

Veamos el **segundo** programa de ejemplo de todo programador.

hola.c

```
1  #include <stdio.h>
2
3  int main(int argc, char* argv[]) {
4      char nombre[80];
5
6      printf("Ingrese su nombre: ");
7      gets(nombre);
8      printf("Hola, %s!\n", nombre);
9
10     return 0;
11 }
```

Este programa tiene un **bug de seguridad**.

Problemas de seguridad

Tenemos:

- Bugs “a secas” o bugs comunes,
- Bugs de seguridad

¿Cuál es la diferencia?

Problemas de seguridad

Tenemos:

- Bugs "a secas" o bugs comunes,
- Bugs de seguridad

¿Cuál es la diferencia?

Bugs de seguridad

Los **bugs de seguridad** son aquellos bugs que exponen **más funcionalidad** o distinta funcionalidad al usuario que la que el programa dice tener. (**Funcionalidad oculta**).

Problemas de seguridad

Desde el punto de vista de la **correctitud**:

- El programa escribe fuera de su memoria asignada.
- No interesa dónde escribe: Está fuera del buffer en cuestión.
- No respeta alguna precondición, postcondición, invariante, etc.
- Pincha, explota, se cuelga, no anda.

Problemas de seguridad

Desde el punto de vista de la **correctitud**:

- El programa escribe fuera de su memoria asignada.
- No interesa dónde escribe: Está fuera del buffer en cuestión.
- No respeta alguna precondición, postcondición, invariante, etc.
- Pincha, explota, se cuelga, no anda.

Desde el punto de vista de la **seguridad**:

- El programa hace algo que el programador no pretendía
  (ej: Escribir fuera del buffer.)
- Son importantes las cuestiones técnicas sobre qué hace **de más** el programa.
  (ej: Qué había de importante donde escribe.)

Impacto de un bug de seguridad

Desde un punto de vista de seguridad hay, al menos, dos preguntas que siempre hay que hacer:

1. **¿Qué controla el usuario?**
2. **¿Qué información sensible hay ahí?**

Impacto de un bug de seguridad

Desde un punto de vista de seguridad hay, al menos, dos preguntas que siempre hay que hacer:

1. **¿Qué controla el usuario?**
2. **¿Qué información sensible hay ahí?**

Ejemplo: Para un programa **correcto** deberíamos responder:

1. El contenido del buffer `nombre`.
2. Nada.

Ejemplo: Para un programa **incorrecto** deberíamos responder:

1. El contenido del buffer `nombre` y todas las posiciones de memoria siguientes.
2. Todos los datos guardados en la pila por las llamadas anteriores.

Ejemplo

Situación antes de llamar a la función gets:

hola.c

```
1  #include <stdio.h>
2
3  int main(int argc, char* argv[]) {
4      char nombre[80];
5
6      printf("Ingrese su nombre: ");
7      gets(nombre);
8      printf("Hola, %s!\n", nombre);
9
10     return 0;
11 }
```

Stack

addr	val
...	...
ebp-80	nombre
...	...
ebp-4	...
ebp	$ebp_{anterior}$
ebp+4	return address
ebp+8	argc
ebp+12	*argv[]
...	...

1. **¿Qué controla el usuario?**
2. **¿Qué información sensible hay ahí?**

Impacto

El usuario controla:

- Toda la pila **después** de nombre (posiciones más altas).
- En particular, el return address de `main` (`main` es una función más).
- Controla qué se ejecutará cuando `main` termine con un `return`.

Impacto:

- **Funcionalidad oculta**: Permite al usuario ejecutar cualquier código que desee luego de `main`.

Impacto

A veces el impacto puede ser diferente:

- **Escalado de privilegios**: ejecutar con un usuario de mayor privilegio.
- **Autenticación indebida**: ingresar a la sesión de un usuario que no nos corresponde (no necesariamente conociendo las credenciales).
- **Denial of Service**: Deshabilitar el uso de un servicio para terceros (ej: "se cayó el sistema").
- **Obtención de datos privados**: base de datos de clientes, códigos de tarjetas de crédito, código fuente privado, etc.

Exploits

Exploit

Un **exploit** es un fragmento de código que utiliza la funcionalidad oculta del programa vulnerable. Se dice que **explota la vulnerabilidad**.

Ejemplo

Veamos ahora este programa:

hola.c

```
#include <stdio.h>

void saludo(void) {
    char nombre[80];

    printf("Ingrese su nombre completo: ");
    gets(nombre);
    printf("Hola, %s!\n", nombre);
}

int main(int argc, char* argv[]) {
    saludo();

    return 0;
}
```

Test del programa

Usuario "normal"

```
$ ./saludo
Ingrese su nombre completo: Christian Nicolás
Hola, Christian Nicolás!
```

Test del programa

Usuario "normal"

```
$ ./saludo
Ingrese su nombre completo: Christian Nicolás
Hola, Christian Nicolás!
```

Test del programa

Usuario "normal"

```
$ ./saludo
Ingrese su nombre completo: Christian Nicolás
Hola, Christian Nicolás!
```

Usuario "extravagante"

```
$ ./saludo
Ingrese su nombre: Pablo Diego Jose Francisco
de Paula Juan Nepomuceno Cipriano de la
Santisima Trinidad Ruiz
Hola, Pablo Diego Jose Francisco de Paula Juan
Nepomuceno Cipriano de la Santisima Trinidad
Ruiz!
Segmentation fault
```

Necesitamos saber en qué posición **del buffer** están los datos sensibles:

saludo (desensamblado)

```
0804842d <saludo>:
 804842d: push   ebp
 804842e: mov    ebp,esp
 8048430: sub    esp,0x68
 8048433: mov    DWORD PTR [esp],0x8048510
 804843a: call   80482f0 <printf@plt>
 804843f: lea    eax,[ebp-0x58]
 8048442: mov    DWORD PTR [esp],eax
 8048445: call   8048300 <gets@plt>
 804844a: lea    eax,[ebp-0x58]
 804844d: mov    DWORD PTR [esp+0x4],eax
 8048451: mov    DWORD PTR [esp],0x804852d
 8048458: call   80482f0 <printf@plt>
 804845d: leave
 804845e: ret
```

Stack

addr	val
...	...
ebp-0x68	param0
ebp-0x64	param1
...	...
ebp-0x58	nombre
...	...
ebp-0x08	???
ebp-0x04	???
ebp	$ebp_{anterior}$
ebp+0x04	return address
...	...

La dirección de `nombre` dentro de la función es `ebp-0x58`.

Exploits

Debemos pasar como entrada un buffer de la siguiente forma:

1. 80 bytes cualquiera para llenar el buffer.
2. 8 bytes que se escribirán sobre los ???.
3. 4 bytes que se escribirán sobre el valor de `ebp`. (`abcd`)
4. 4 bytes que se escribirán sobre el valor del return address. (`efgh`)

Detalle:

- `fgets` deja de leer con un **fin de línea** o **un fin de archivo**.

Ejemplo de buffer

```
00000000  30 31 32 33 34 35 36 37  38 39 30 31 32 33 34 35  |0123456789012345|
00000010  36 37 38 39 30 31 32 33  34 35 36 37 38 39 30 31  |6789012345678901|
00000020  32 33 34 35 36 37 38 39  30 31 32 33 34 35 36 37  |2345678901234567|
00000030  38 39 30 31 32 33 34 35  36 37 38 39 30 31 32 33  |8901234567890123|
00000040  34 35 36 37 38 39 30 31  32 33 34 35 36 37 38 39  |4567890123456789|
00000050  30 31 32 33 34 35 36 37  61 62 63 64 65 66 67 68  |01234567abcdefgh|
00000060
```

Exploits

¿Qué sería deseable que ocurra si pasamos este buffer como entrada?

¿Qué sería deseable que ocurra si pasamos este buffer como entrada?

`Segmentation fault`[1]

[1] Es una de las pocas veces que el objetivo es que el resultado sea `Segmentation fault`

¿Qué sería deseable que ocurra si pasamos este buffer como entrada?

`Segmentation fault`[1]

Demo

[1] Es una de las pocas veces que el objetivo es que el resultado sea `Segmentation fault`

Exploits

- Ya controlamos `eip`, por lo tanto, podemos saltar a donde queramos
- ¿y ahora? ¿A **dónde** saltamos?

Exploits

- Ya controlamos `eip`, por lo tanto, podemos saltar a donde queramos
- ¿y ahora? ¿A **dónde** saltamos?

Opción 1: Saltar a nuestro propio buffer.

Exploits

- Ya controlamos `eip`, por lo tanto, podemos saltar a donde queramos
- ¿y ahora? ¿A **dónde** saltamos?

Opción 1: Saltar a nuestro propio buffer.

Opción 2: Saltar a código del programa que haga lo que nosotros queremos (por ejemplo, "`authenticate()`").

Exploits

- Ya controlamos `eip`, por lo tanto, podemos saltar a donde queramos
- ¿y ahora? ¿A **dónde** saltamos?

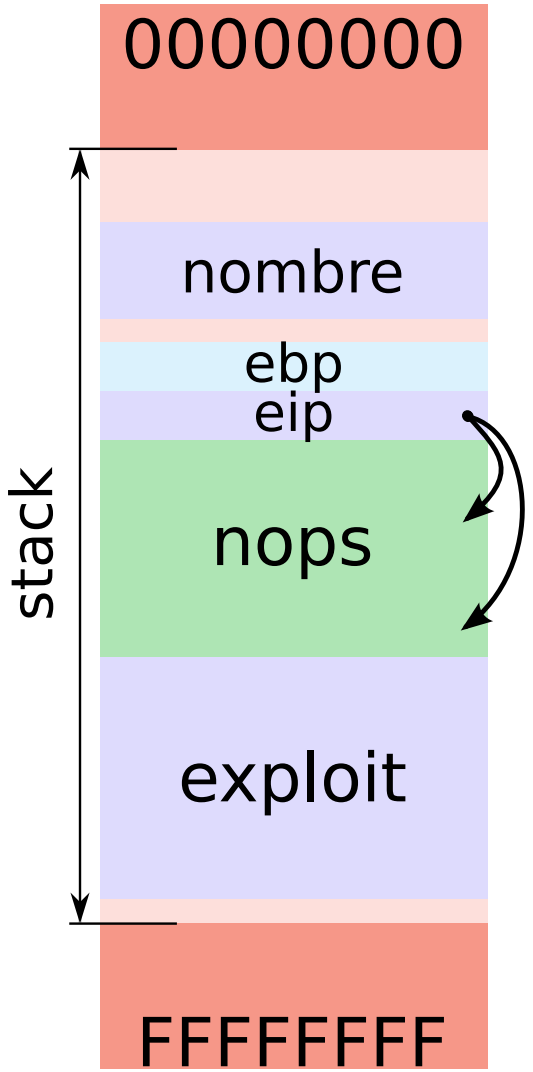
Opción 1: Saltar a nuestro propio buffer.

Opción 2: Saltar a código del programa que haga lo que nosotros queremos (por ejemplo, "`authenticate()`").

Opción 3: Saltar a código suelto del programa que ejecuta parte de lo que queremos y luego permite seguir controlando el flujo (realizamos varios saltos).

Opción 1:

- `return-address` una dirección dentro de nuestro buffer.
- Saltamos dentro de nuestro buffer.
- No es necesario saber la dirección **exacta** del exploit.



Demo

Vulnerabilidades Clásicas

- Buffer Overflow (ya la vimos)
- Integer Overflow
- Format String
- SQL Injection

...y cada día se descubren nuevas ideas.

Integer Overflow

- Ocurre cuando un valor entero se pasa del tamaño de la variable donde está almacenado.
- No es un problema de seguridad de por sí, pero puede ser usado en combinación con otros problemas.

Format String

Esta vulnerabilidad se basa en un mal diseño de la función `printf` y similares:

```
int printf(const char *format, ...);
```

El primer parámetro contiene información sobre cómo darle formato a los distintos parámetros:

- Hay opciones para mostrar un número en decimal (`%d`), hexa (`%x`), etc...
- Hay modificadores para indicar que el parámetro es de 1, 2, 4 u 8 bytes (`hh`, `h`, `l`);

```
long a = 1;
double pi = 3.14159265358979;
printf("a=%ld pi=%lf", a, pi);
```

Format String

- Hay opciones para mostrar el contenido de un puntero (string o `char*`) hasta la primer ocurrencia de un 0 (`%s`).
- Hay modificadores para elegir qué parámetro se desea mostrar en ese punto. Ejemplo:

```
printf("%2$d %1$s", "hola", 123);
```

Format String

- Hay opciones para mostrar el contenido de un puntero (string o `char*`) hasta la primer ocurrencia de un 0 (`%s`).
- Hay modificadores para elegir qué parámetro se desea mostrar en ese punto. Ejemplo:

```
printf("%2$d %1$s", "hola", 123);
```
1

- Hay una opción para **escribir** en el puntero pasado por parámetro cuántos caracteres fueron escritos hasta el momento en el stream.

```
printf("%d%n%d", 123, &a, 456);
```
1

Parece tener alguna limitada utilidad para realizar un parser (`scanf` también la tiene), pero se usa muy poco o nunca.

Format String

Justo antes de realizar el `call printf` la situación es así:

fs.c

```
1  #define MAX_BUF 2048
2
3  void echo(void) {
4      char echobuf[MAX_BUF];
5
6      fgets(echobuf, MAX_BUF, stdin);
7      printf(echobuf);
8  }
```

La dirección de `echobuf` dentro de la función es `ebp-0x808`.

Stack

addr	val
...	...
ebp-0x818	&echobuf
...	...
ebp-0x808	echobuf
...	...
ebp-0x008	???
ebp-0x004	???
ebp	ebp_{main}
ebp+0x004	ret $addr_{main}$
...	...

Format String

¿Qué controla el usuario?

Format String

¿Qué controla el usuario?

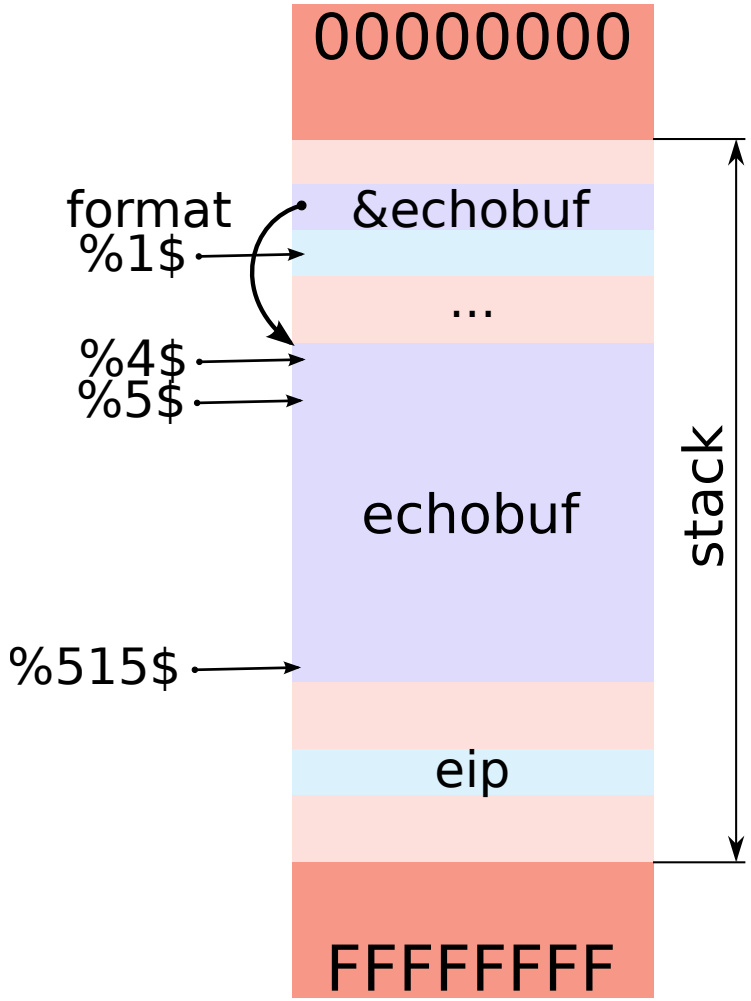
El contenido de `echobuf` y el **format string** de la llamada a `printf`.

¿Qué controla el usuario?

El contenido de `echobuf` y el **format string** de la llamada a `printf`.

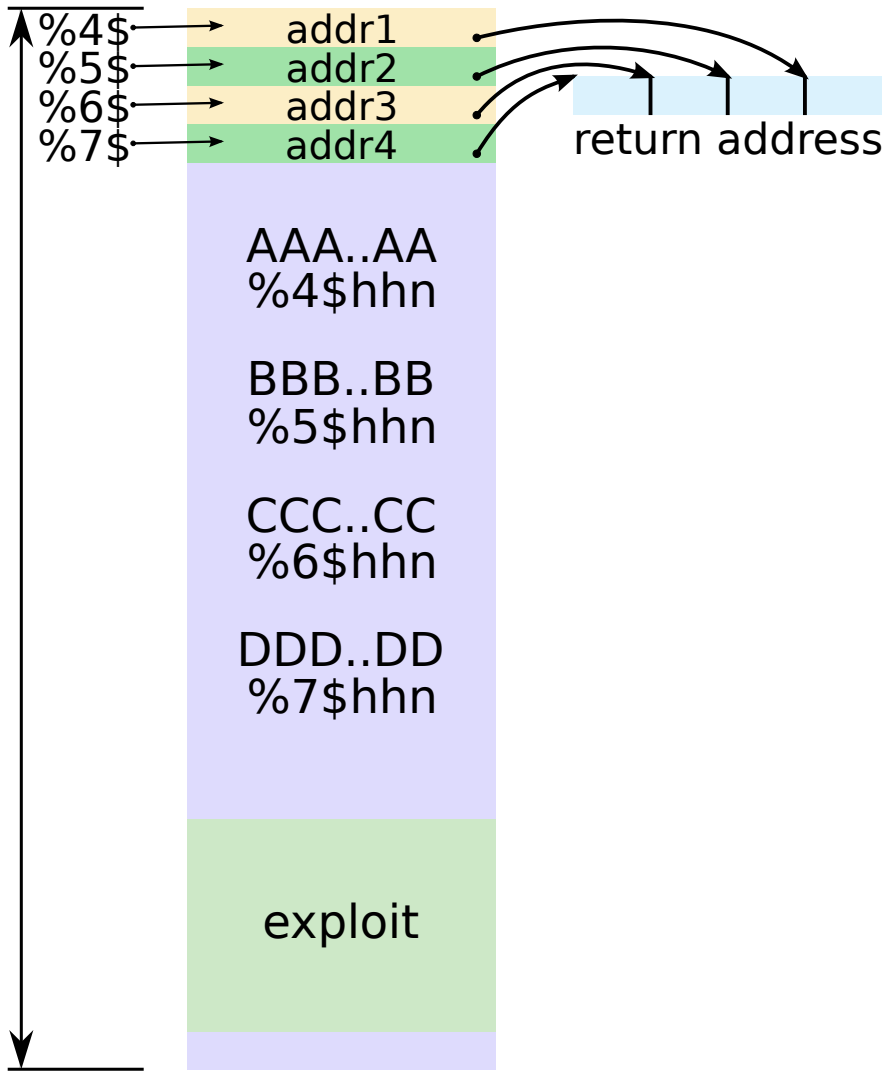
Estrategia:

- Enviar en `echobuf` caracteres `%n` para escribir en memoria
- Enviar en el mismo buffer direcciones de memoria que vamos a usar como parámetros (puntero).
- Usar la variante que nos permite elegir el número de parámetro a usar. Con esto ya podemos elegir dónde escribir.



Format String

- Para escribir un número de 32bits deberíamos enviar por stdout esa cantidad de caracteres (recoredemos `%n` guarda la cantidad de caracteres escritos). No entran en el buffer.
- Usamos la variante que escribe número de 1 byte (`%hhn`) y aprovechamos el integer overflow para escribir de a 1 byte.



Format String

1. Hacemos 4 escrituras de 1 byte.
2. Usamos este esquema de escritura para sobreescribir información sensible: return address.
3. Saltamos a otro código: ¿Cuál?

   Ponemos al final del buffer nuestro exploit y saltamos a esa posición.

Format String

1. Hacemos 4 escrituras de 1 byte.
2. Usamos este esquema de escritura para sobreescribir información sensible: return address.
3. Saltamos a otro código: ¿Cuál?

   Ponemos al final del buffer nuestro exploit y saltamos a esa posición.

El buffer quedaría así:

buffer

"$addr_1 addr_2 addr_3 addr_4$ `AA...AA%4$hhn BB...BB%5$hhn CC...CC%6$hhn DD...DD%7$hhn paa...aaading` *codigo*"

Demo

SQL Injection

- Ejemplo de consulta a una base de datos para la validación de un usuario:

```
SELECT *                                                    1
FROM   usuarios                                             2
WHERE  login=''$USER'' AND pass=''$PASS''                   3
```

  donde $USER y $PASS son controlados por el usuario.
- Si hay una entrada en la base de datos con esas credenciales, el SELECT lo devuelve.
- **¿Seguro?**

SQL Injection

- Ejemplo de consulta a una base de datos para la validación de un usuario:

```
SELECT *                                                    1
FROM   usuarios                                             2
WHERE  login=''$USER'' AND pass=''$PASS''                   3
```

  donde $USER y $PASS son controlados por el usuario.
- Si hay una entrada en la base de datos con esas credenciales, el SELECT lo devuelve.
- **¿Seguro?**
- ¿Qué pasaría si el usuario ingresara lo siguiente?

  USER: `admin`
  PASS: `nose'' OR ''1''=''1`

SQL Injection

La consulta queda conformada de la siguiente manera:

```
SELECT *                                                                    1
FROM   usuarios                                                             2
WHERE  login=''admin'' AND pass=''nose'' OR ''1''=''1''                     3
```

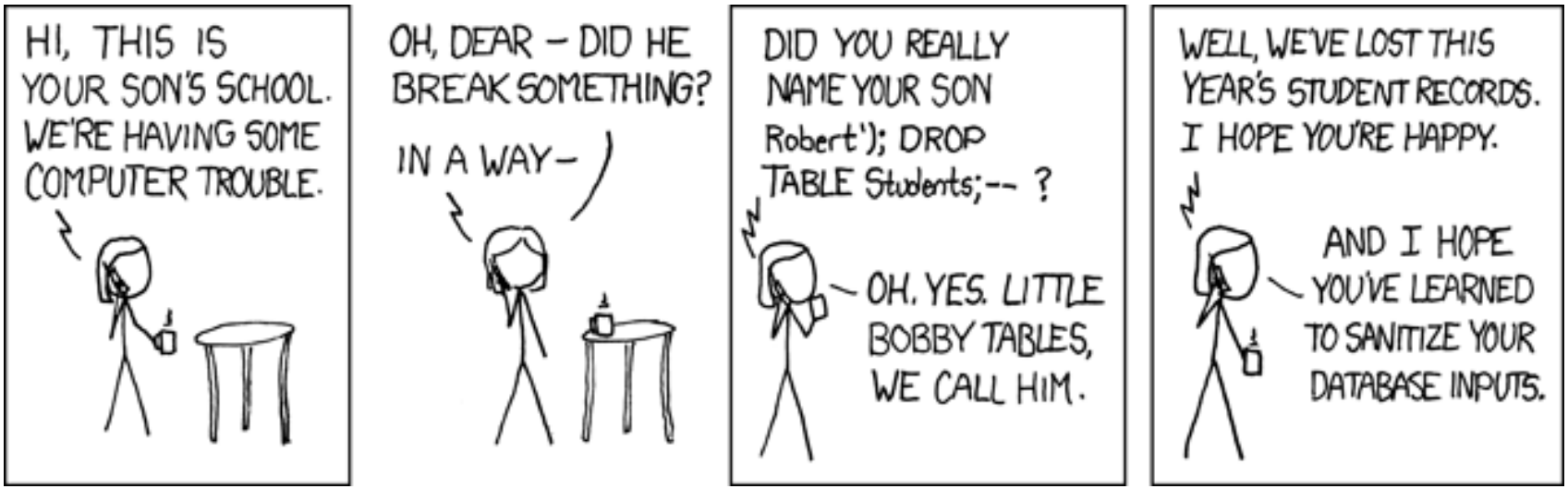
- El reemplazo se realiza en el programa y la consulta ya reemplazada se envía a la base de datos.
- El `SELECT` devuelve la entrada de la base de datos aún cuando el *password* ingresado no es el correcto.
- El programa asume que el *password* es correcto porque el `SELECT` devolvió la entrada.

SQL Injection - Impacto

El impacto puede ser diferente:

- Escalado de privilegio o login indebido.
- Destrucción de datos, por ejemplo, PASS: “’’; `DROP TABLE usuarios; --`”
- Obtención de datos privados.

SQL Injection (xkcd.com)



"`Robert'); DROP TABLE Students; --`" alias "Little Bobby Tables".

Mecanismos de Protección del SO

Algunos sistemas operativos implementan uno o más mecanísmos para **protegerse** de posibles ataques. Los principales son:

- `DEP`: *Data Execution Prevention*
- `ASLR`: *Address Space Layout Randomization*
- `Stack Canaries`: También conocido como *Stack Guards* or *Stack Cookies*

Todos estos son mecanísmos que se utilizan en conjunción para intentar mitigar diferentes clases de ataques.

DEP

- Ninguna región de memoria debería ser al mismo tiempo **escribible** y **ejecutable**
- Ejemplos básicos: `Heap` y `Stack`
- Se implementan con ayuda del hardware, por ejemplo, bit NX (en Intel)
- Impide ataques básicos (como los vistos hoy). Es decir, ya no se puede inyectar código.

DEP

- Ninguna región de memoria debería ser al mismo tiempo **escribible** y **ejecutable**
- Ejemplos básicos: `Heap` y `Stack`
- Se implementan con ayuda del hardware, por ejemplo, bit NX (en Intel)
- Impide ataques básicos (como los vistos hoy). Es decir, ya no se puede inyectar código.
- ¿Esto significa que ya no se puede explotar un programa vulnerable?

DEP

- Ninguna región de memoria debería ser al mismo tiempo **escribible** y **ejecutable**
- Ejemplos básicos: `Heap` y `Stack`
- Se implementan con ayuda del hardware, por ejemplo, bit NX (en Intel)
- Impide ataques básicos (como los vistos hoy). Es decir, ya no se puede inyectar código.
- ¿Esto significa que ya no se puede explotar un programa vulnerable?
- **No!** Hay técnicas para "bypassear" esta protección: ROP

ASLR

- Modifica de manera aleatoria la dirección base de regiones importantes de memoria entre las diferentes ejecución de un proceso
- Por ejemplo: `Heap`, `Stack`, `LibC`, etc.
- Ver la salida del comando: `cat /proc/self/maps`
- Impide ataques que utilizan direcciones "hardcodeadas" (como los vistos hoy)
- No todo se "randomiza". Por lo general, la sección de texto de un programa no lo cambia. Para que lo haga, se tiene que compilar especialmente para ser *Position Independent Code*.
- Sí está compilado con `PIE` el sistema operativo puede cambiar su dirección base entre sucesivas ejecuciones.
- Al igual que `DEP`, también es "bypasseable" (aunque puede ser más difícil)

Stack Canaries

- Implementado a nivel del compilador
- Se coloca un valor en la pila luego de crear el *stack frame*
- Antes de retornar de la función se verifica que el valor sea el correcto.
- La idea es proteger el valor de retorno de la función de posibles *buffer overflows*
- Esta técnica, también es "bypasseable".

Todas estas técinas pueden vencerse con menor o mayor esfuerzo individualmente, sin embargo, para vulnerar la seguridad de un sistema se deben vencer todas al mismo tiempo. Esto incrementa bastante la dificultad para logralo de manera exitosa.

¿Preguntas?