

Arquitectura de Sistemas

Práctica 1: Entorno de desarrollo GNU

Gustavo Romero López

Updated: 14 de febrero de 2019

Arquitectura y Tecnología de Computadores

- 1. Índice
- 2. Objetivos
- 3. Introducción
- 4. C
- 5. Ensamblador
- 6. Ejemplos
 - 6.1 hola
 - 6.2 make
 - 6.3 C++
 - 6.4 32 bits
 - 6.5 64 bits
 - 6.6 ASM + C
 - 6.7 Optimización
- 7. Compiler Explorer
- 8. Enlaces

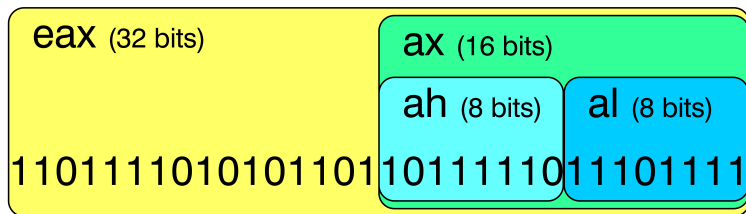
Objetivos

- ⊙ Programar en ensamblador.
- ⊙ Linux es tu amigo: si no sabes algo pregunta... **man**.
- ⊙ Hoy aprenderemos varias cosas:
 - El esqueleto de un programa básico en ensamblador.
 - Como aprender de un maestro: el compilador **gcc**.
 - Herramientas clásicas del entorno de programación UNIX:
 - **make**: hará el trabajo sucio y rutinario por nosotros.
 - **as**: el ensamblador.
 - **ld**: el enlazador.
 - **gcc**: el compilador.
 - **nm**: lista los símbolos de un fichero.
 - **objdump**: el desensamblador.
 - **gdb** y **ddd** (gdb con cirugía estética): los depuradores.
 - Herramienta web: Compiler Explorer

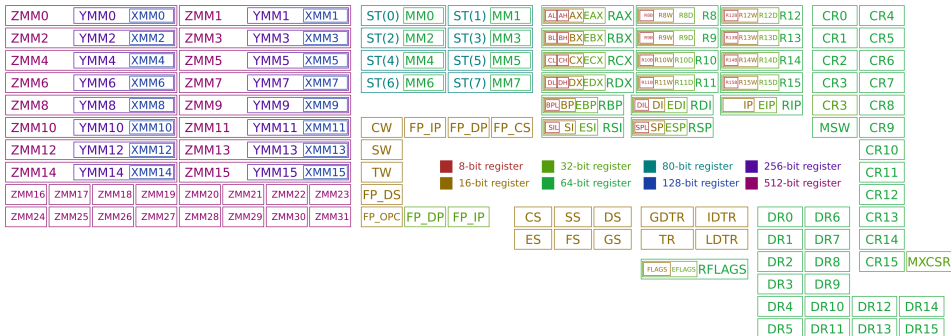
Ensamblador 80x86

- ⊙ Los **80x86** son una familia de procesadores.
- ⊙ Junto con los procesadores tipo **ARM** son los más utilizados.
- ⊙ En estas prácticas vamos a centrarnos en su **lenguaje ensamblador** (inglés).
- ⊙ El lenguaje ensamblador es el más básico, tras el binario, con el que podemos escribir programas utilizando las **instrucciones** que entiende el procesador.
- ⊙ Cualquier estructura de un lenguaje de alto nivel pueden crearse mediante instrucciones sencillas.
- ⊙ Normalmente es utilizado para poder acceder a partes que los lenguajes de alto nivel nos ocultan, complican o hacen de forma que no nos interesa.

Register aliasing / sub-registers



Arquitectura 80x86: registros completos



Arquitectura 80x86: banderas

eflags register

0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	ID	VIP	VIF	AC	VM	RF	0	NT	IOPL	OF	DF	IF	TF	SF	ZF	0	AF	0	PF	1	CF
31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16	15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0



Reserved flags



System flags



Arithmetic flags

TF: Trap
IF: Interrupt
DF: Direction

CF: Carry
PF: Parity
AF: Adjust
ZF: Zero
SF: Sign
OF: Overflow

Programa mínimo en C

minimo1.c

```
int main() {}
```

minimo2.c

```
int main() { return 0; }
```

minimo3.c

```
#include <stdlib.h>  
int main() { exit(0); }
```


Trasteando el programa mínimo en C

- ⊙ Compilar: `gcc minimo1.c -o minimo1`
- ⊙ ¿Qué he hecho? `file ./minimo1`
- ⊙ ¿Qué contiene? `nm ./minimo1`
- ⊙ Ejecutar: `./minimo1`
- ⊙ Desensamblar: `objdump -d minimo1`
- ⊙ Ver llamadas al sistema: `strace ./minimo1`
- ⊙ Ver llamadas de biblioteca: `ltrace ./minimo1`
- ⊙ ¿Qué bibliotecas usa? `ldd minimo1`

`linux-vdso.so.1 (0x00007ffe2ddbc000)`
`libc.so.6 => /lib64/libc.so.6 (0x00007fbc5043a000)`
`/lib64/ld-linux-x86-64.so.2 (0x0000558dbe5aa000)`
- ⊙ Examinar biblioteca: `objdump -d /lib64/libc.so.6`

Ensamblador desde 0: secciones básicas de un programa

```
.data                                # datos
```

```
.text                               # código
```

Ensamblador desde 0: punto de entrada

```
.text                                # código  
    .globl _start                   # empezar aquí
```

Ensamblador desde 0: datos

```
.data                                # datos
msg:    .string "¡hola, mundo!\n"
tam:    .int  . - msg
```

Ensamblador desde 0: código

```
write:  movl    $4, %eax      # write
        movl    $1, %ebx      # salida estándar
        movl    $msg, %ecx    # cadena
        movl    tam, %edx     # longitud
        int     $0x80         # llamada a write
        ret                    # retorno

exit:   movl    $1, %eax      # exit
        xorl    %ebx, %ebx    # 0
        int     $0x80         # llamada a exit
```

Ensamblador desde 0: ejemplo básico hola.s

```
.data                                # datos
msg:    .string "ihola, mundo!\n"
tam:     .int . - msg

.text                                # código
        .globl _start               # empezar aquí

write:   movl    $4, %eax            # write
        movl    $1, %ebx            # salida estándar
        movl    $msg, %ecx          # cadena
        movl    tam, %edx           # longitud
        int     $0x80               # llamada a write
        ret                          # retorno

exit:    movl    $1, %eax            # exit
        xorl    %ebx, %ebx          # 0
        int     $0x80               # llamada a exit

_start:
        call    write               # llamada a función
        call    exit                 # llamada a función
```

¿Cómo hacer ejecutable mi programa?

¿Cómo hacer ejecutable el código anterior?

- ⦿ opción a: ensamblar + enlazar
 - `as hola.s -o hola.o`
 - `ld hola.o -o hola`
- ⦿ opción b: compilar = ensamblar + enlazar
 - `gcc -nostdlib hola.s -o hola`
- ⦿ opción c: que lo haga alguien por mi → `make`
 - `makefile`: fichero con definiciones, objetivos y recetas.

Ejercicios:

1. Cree un ejecutable a partir de `hola.s`.
2. Use `file` para ver el tipo de cada fichero.
3. Descargue el fichero `makefile`, pruébelo e intente hacer alguna modificación.
4. Examine el código ensamblador con `objdump -d hola`.

```
A32 = $(wildcard *32*.s)
E32 = $(basename $(A32))

A64 = $(wildcard *64*.s)
E64 = $(basename $(A64))

ASM = $(A32) $(A64) $(wildcard *.s)
SRC = $(wildcard *.c *.cc)
EXE = $(E32) $(E64) $(basename $(SRC))
ATT = $(EXE:=.att)

CFLAGS = -g -Os -std=c11 -Wall
CXXFLAGS = $(CFLAGS:c11=c++11)

%. %.s
$(CC) $(CFLAGS) -fno-pie -no-pie -nostartfiles $< -o $@

%. %.c
$(CC) $(CFLAGS) $< -o $@

%. %.cc
$(CXX) $(CXXFLAGS) $< -o $@

%.att: %
objdump -C -d $< > $@
```


Ejemplo en C++: hola-c++.cc

```
#include <iostream>

int main()
{
    std::cout << "¡hola, mundo!"
               << std::endl;
}
```

- ⦿ ¿Qué hace gcc con mi programa?
- ⦿ La única forma de saberlo es desensamblarlo:
 - Sintaxis AT&T: `objdump -C -d hola-c++`
 - Sintaxis Intel: `objdump -C -d hola-c++ -M intel`

Ejercicios:

5. ¿Qué hace ahora diferente la función `main()` respecto a C?

```
write:  movl    $4, %eax    # write
        movl    $1, %ebx    # salida estándar
        movl    $msg, %ecx  # cadena
        movl    tam, %edx   # longitud
        int     $0x80       # llamada a write
        ret                # retorno

exit:   movl    $1, %eax    # exit
        xorl    %ebx, %ebx  # 0
        int     $0x80       # llamada a exit
```

Ejercicios:

6. Descargue hola32.s. Ejecute el programa instrucción por instrucción con el ddd hasta comprender como funciona.
7. Si quiere aprender un poco más estudie hola32p.s. Sobre el mismo podemos destacar: código de 32 bits, uso de *“little endian”*, llamada a subrutina, uso de la pila y codificación de caracteres.

```
write:  mov    $1, %rax    # write
        mov    $1, %rdi    # stdout
        mov    $msg, %rsi  # texto
        mov    tam, %rdx   # tamaño
        syscall            # llamada a write
        ret

exit:   mov    $60, %rax   # exit
        xor    %rdi, %rdi  # 0
        syscall            # llamada a exit
        ret
```

Ejercicios:

8. Descargue hola64.s. Ejecute el programa instrucción por instrucción con el ddd hasta comprender como funciona.
9. Compare hola64.s con hola64p.s. Sobre este podemos destacar: código de 64 bits, llamada a subrutina, uso de la pila y codificación de caracteres.

⦿ ¿Sabes C? \iff ¿Has usado la función printf()?

```
#include <stdio.h>
```

```
int main()
```

```
{
```

```
    int i = 12345;
```

```
    printf("i=%d\n", i);
```

```
    return 0;
```

```
}
```

```
#include <stdio.h>
```

```
int i = 12345;
```

```
char *formato = "i=%d\n";
```

```
int main()
```

```
{
```

```
    printf(formato, i);
```

```
    return 0;
```

```
}
```

Ejercicios:

10. ¿En qué se parecen y en qué se diferencian printf-c-1.c y printf-c-2.c? nm, objdump y kdiff3 serán muy útiles...

Mezclando lenguajes: ensamblador y C (32 bits) printf32.s

```
.data
i:      .int 12345          # variable entera
f:      .string "i = %d\n" # cadena de formato

.text

.extern printf             # printf en otro sitio
.globl _start              # función principal

_start: push (i)            # apila i
        push $f             # apila f
        xor %eax, %eax      # registros vectoriales
        call printf         # llamada a printf
        add $8, %esp        # restaura pila

        movl $1, %eax       # exit
        xorl %ebx, %ebx     # 0
```

Ejercicios:

11. Descargue y compile printf32.s.
12. Modifique printf32.s para que finalice mediante la función exit() de C (man 3 exit). Solución: printf32e.s.

Mezclando lenguajes: ensamblador y C (64 bits) printf64.s

```
.data
i:      .int 12345          # variable entera
f:      .string "i = %d\n" # cadena de formato

.text

        .globl _start

_start: mov $f, %rdi        # formato
        mov (i), %rsi       # i
        xor %rax, %rax      # registros vectoriales
        call printf         # llamada a función

        xor %rdi, %rdi      # valor de retorno
        call exit           # llamada a función
```

Ejercicios:

13. Descargue y compile printf64.s.
14. Busque las diferencias entre printf32.s y printf64.s.

Optimización: sum.cc

```
int main()
{
    int sum = 0;

    for (int i = 0; i < 10; ++i)
        sum += i;

    return sum;
}
```

Ejercicios:

15. ¿Cómo implementa gcc los bucles for?
16. Observe el código de la función main() al compilarlo...
 - sin optimización: `g++ -O0 sum.cc -o sum`
 - con optimización: `g++ -O3 sum.cc -o sum`

Optimización: función main() de sum.cc

sin optimización (gcc -O0)

```
4005b6: 55                push    %rbp
4005b7: 48 89 e5          mov     %rsp,%rbp
4005ba: c7 45 fc 00 00 00 00 movl    $0x0,-0x4(%rbp)
4005c1: c7 45 f8 00 00 00 00 movl    $0x0,-0x8(%rbp)
4005c8: eb 0a            jmp     4005d4 <main+0x1e>
4005ca: 8b 45 f8          mov     -0x8(%rbp),%eax
4005cd: 01 45 fc          add     %eax,-0x4(%rbp)
4005d0: 83 45 f8 01      addl    $0x1,-0x8(%rbp)
4005d4: 83 7d f8 09      cmpl    $0x9,-0x8(%rbp)
4005d8: 7e f0            jle     4005ca <main+0x14>
4005da: 8b 45 fc          mov     -0x4(%rbp),%eax
4005dd: 5d              pop     %rbp
4005de: c3              retq
```

con optimización (gcc -O3)

```
4004c0: b8 2d 00 00 00    mov     $0x2d,%eax
4004c5: c3              retq
```


Compiler Explorer: <https://godbolt.org>



Editor Diff View More

Share Other Policies

C++ source #1

A Save Load Add new...

C++

```
1 template <class T>
2 concept bool Addable =
3     requires (T t) { t + t; };
4
5 int main()
6 {
7     int x = 1, y = 2;
8     Addable a = x + y;
9     return a;
10 }
```

x86-64 gcc 8.2 (Editor #1, Compiler #1) C++

x86-64 gcc 8.2 -fconcepts

A 11010 .LX0: .text // 's+ Intel Demangle

Libraries Add new...

```
1 main:
2 pushq %rbp
3 movq %rsp, %rbp
4 movl $1, -4(%rbp)
5 movl $2, -8(%rbp)
6 movl -4(%rbp), %edx
7 movl -8(%rbp), %eax
8 addl %edx, %eax
9 movl %eax, -12(%rbp)
10 movl -12(%rbp), %eax
11 popq %rbp
12 ret
```

x86-64 gcc 8.2 (Editor #1, Compiler #2) C++

x86-64 gcc 8.2 -fconcepts -O3

A 11010 .LX0: .text // 's+ Intel Demangle

Libraries Add new...

```
1 main:
2 movl $3, %eax
3 ret
```

Compiler Explorer: <https://godbolt.org>



Editor Diff View More

Share Other Policies

C++ source #1 x

A- Save/Load + Add new... C++

```
1 template<typename T> T adder(T v)
2 {
3     return v;
4 }
5
6 template<typename T, typename... Args>
7 {
8     return first + adder(args...);
9 }
10
11 int main()
12 {
13     return adder(1, 2, 3, 4, 5);
14 }
```

x86-64 gcc 8.2 (Editor #1, Compiler #1) C++ x

x86-64 gcc 8.2 Compiler options...

A- 11010 .LX0: .text // 's+ Intel Demangle

Libraries+ Add new...

```
1 main:
2 pushq %rbp
3 movq %rsp, %rbp
4 movl $5, %r8d
5 movl $4, %ecx
6 movl $3, %edx
7 movl $2, %esi
8 movl $1, %edi
9 call int adder<int, int, int, int,
10 nop
11 popq %rbp
12 ret
13 int adder<int, int, int, int, int>(int
14 pushq %rbp
15 movq %rsp, %rbp
16 subq $32, %rsp
17 movl %edi, -4(%rbp)
18 movl %esi, -8(%rbp)
19 movl %edx, -12(%rbp)
20 movl %ecx, -16(%rbp)
21 movl %r8d, -20(%rbp)
22 movl -20(%rbp), %ecx
23 movl -16(%rbp), %edx
24 movl -12(%rbp), %esi
25 movl -8(%rbp), %eax
26 movl %eax, %edi
27 call int adder<int, int, int, int>(:
28 movl %eax, %edx
29 movl -4(%rbp), %eax
30 addl %edx, %eax
31 leave
32 ret
33 int adder<int, int, int, int>(int, int
34 pushq %rbp
35 movq %rsp, %rbp
36 subq $16, %rsp
```

x86-64 gcc 8.2 (Editor #2, Compiler #2) C++ x

x86-64 gcc 8.2 -O3

A- 11010 .LX0: .text // 's+ Intel Demangle

Libraries+ Add new...

```
1 main:
2 movl $15, %eax
3 ret
```

Enlaces de interés

Manuales:

- ⊙ Hardware:

- AMD
- Intel

- ⊙ Software:

- AS
- NASM

Programación:

- ⊙ Programming from the ground up
- ⊙ Linux Assembly

Chuletas:

- ⊙ Chuleta del 8086
- ⊙ Chuleta del GDB