

Grupo ARCOS

uc3m | Universidad **Carlos III** de Madrid

Tema 3 (II)

Fundamentos de la programación en ensamblador

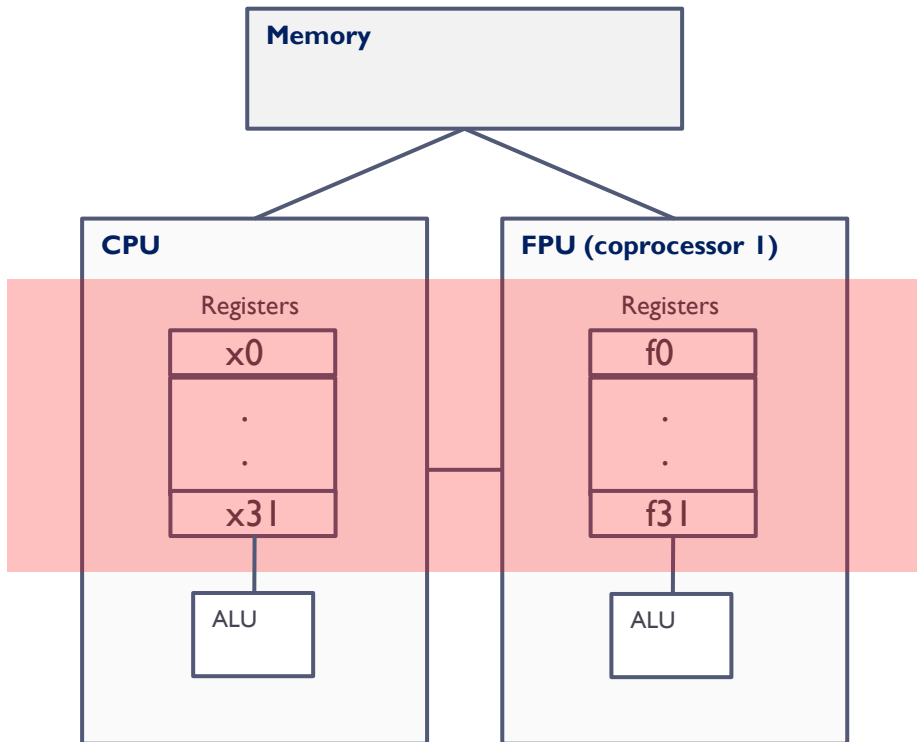
Estructura de Computadores
Grado en Ingeniería Informática



Contenidos

- ▶ Fundamentos básicos de la programación en ensamblador
- ▶ Ensamblador del RISC-V 32, modelo de memoria y representación de datos
 - ▶ RISC-V: registros y memoria
 - ▶ Directivas de ensamblador
 - ▶ Servicios del sistema
 - ▶ Instrucciones para el acceso a memoria
- ▶ Formato de las instrucciones y modos de direccionamiento
- ▶ Llamadas a procedimientos y uso de la pila

RISC-V 32



- ▶ **Registros**
 - ▶ Dentro del procesador
 - ▶ Instrucciones trabajan con valores en registros
 - ▶ 32 registros de 32 bits
- ▶ **Memoria**
 - ▶ Fuera del procesador
 - ▶ Intercambio de datos a/desde registros
 - ▶ Más capacidad pero más tiempo de acceso que los registros
 - ▶ Direcciones de 32 bits
 - ▶ 4 GiB direccionable

Banco de registros del RISC-V 32

0		■ Hay 32 registros		16
1		□ 4 bytes de tamaño (una palabra)		17
2		□ Se nombran con un x al principio		18
3				19
4		■ Convenio de uso		20
5		□ Reservados		21
6		□ Argumentos		22
7		□ Resultados		23
8		□ Temporales		24
9		□ Punteros		25
10				26
11				27
12				28
13				29
14				30
15				31

Banco de registros del RISC-V 32

0		zero		16
1				17
2				18
3				19
4				20
5				21
6				22
7				23
8				24
9				25
10				26
11				27
12				28
13				29
14				30
15				31

Valor cableado a cero
No puede modificarse

Banco de registros del RISC-V 32

0		zero			16
1					17
2					18
3					19
4					20
5		t0			21
6		t1			22
7		t2			23
8					24
9					25
10					26
11					27
12			t3		28
13			t4		29
14			t5		30
15			t6		31

Valores temporales

Banco de registros del RISC-V 32

0		zero		16
1				17
2				18
3				19
4				20
5		t0	s2	21
6		t1	s3	22
7		t2	s4	23
8		s0 / fp	s5	24
9		s1	s6	25
10			s7	26
11			s8	27
12			s9	28
13			s10	29
14			s11	30
15			t3	31
			t4	
			t5	
			t6	

Valores guardados

Banco de registros del RISC-V 32

0		zero			
1		ra	a6		16
2			a7		17
3			s2		18
4			s3		19
5		t0	s4		20
6		t1	s5		21
7		t2	s6		22
8		s0 / fp	s7		23
9		s1	s8		24
10		a0	s9		25
11		a1	s10		26
12		a2	s11		27
13		a3	t3		28
14		a4	t4		29
15		a5	t5		30
			t6		31

Paso de parámetros y
Gestión de subrutinas

Banco de registros del RISC-V 32

0		zero	a6		16
1		ra	a7		17
2		sp	s2		18
3		gp	s3		19
4		tp	s4		20
5		t0	s5		21
6		t1	s6		22
7		t2	s7		23
8		s0 / fp	s8		24
9		s1	s9		25
10		a0	s10		26
11		a1	s11		27
12		a2	t3		28
13		a3	t4		29
14		a4	t5		30
15		a5	t6		31

Puntos de lectura/escritura (punteros)

Banco de registros (enteros)

resumen

Nombre registro	Número	Uso
zero	x0	Constante 0
ra	x1	Dirección de retorno (rutinas)
sp	x2	Puntero a pila
gp	x3	Puntero al área global
tp	x4	Puntero al hilo
t0...t2	x5-x7	Temporal (<u>NO</u> se conserva entre llamadas)
s0/fp	x8	Temporal (se conserva entre llamadas) / Puntero a marco de pila
s1	x9	Temporal (se conserva entre llamadas)
a0...a1	x10...11	Argumento de entrada para rutinas/valores de retorno
a2...a7	12...x17	Argumento de entrada para rutinas
s2... s11	x18...x27	Temporal (se conserva entre llamadas)
t3...t6	x28...x31	Temporal (<u>NO</u> se conserva entre llamadas)

- ▶ Hay 32 registros
 - ▶ 4 bytes de tamaño (una palabra)
 - ▶ Doble nombrado: lógico y numérico (con **x** al principio)
- ▶ Convenio de uso
 - ▶ Reservados
 - ▶ Argumentos
 - ▶ Resultados
 - ▶ Temporales
 - ▶ Punteros

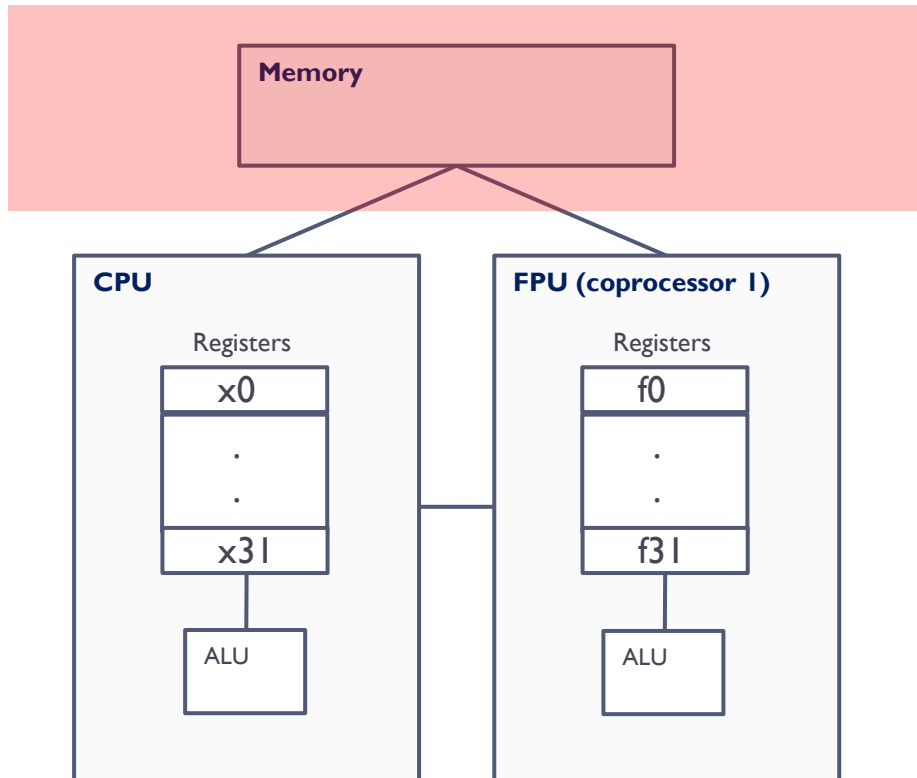
Banco de registros (coma flotante)

resumen

Nombre registro	Número registro	Uso
ft0-ft7	f0 ... f7	Temporales (como los t...)
fs0-fs1	f8 ... f9	Se guardan (como los s...)
fa0-fa1	f10 ... f11	Argumentos/retorno (como los a...)
fa2-fa7	f12 ... f17	Argumentos (como los a...)
fs2-fs11	f18 ... f27	Se guardan (como los s...)
ft8-ft11	f28 ... f31	Temporales (como los t...)

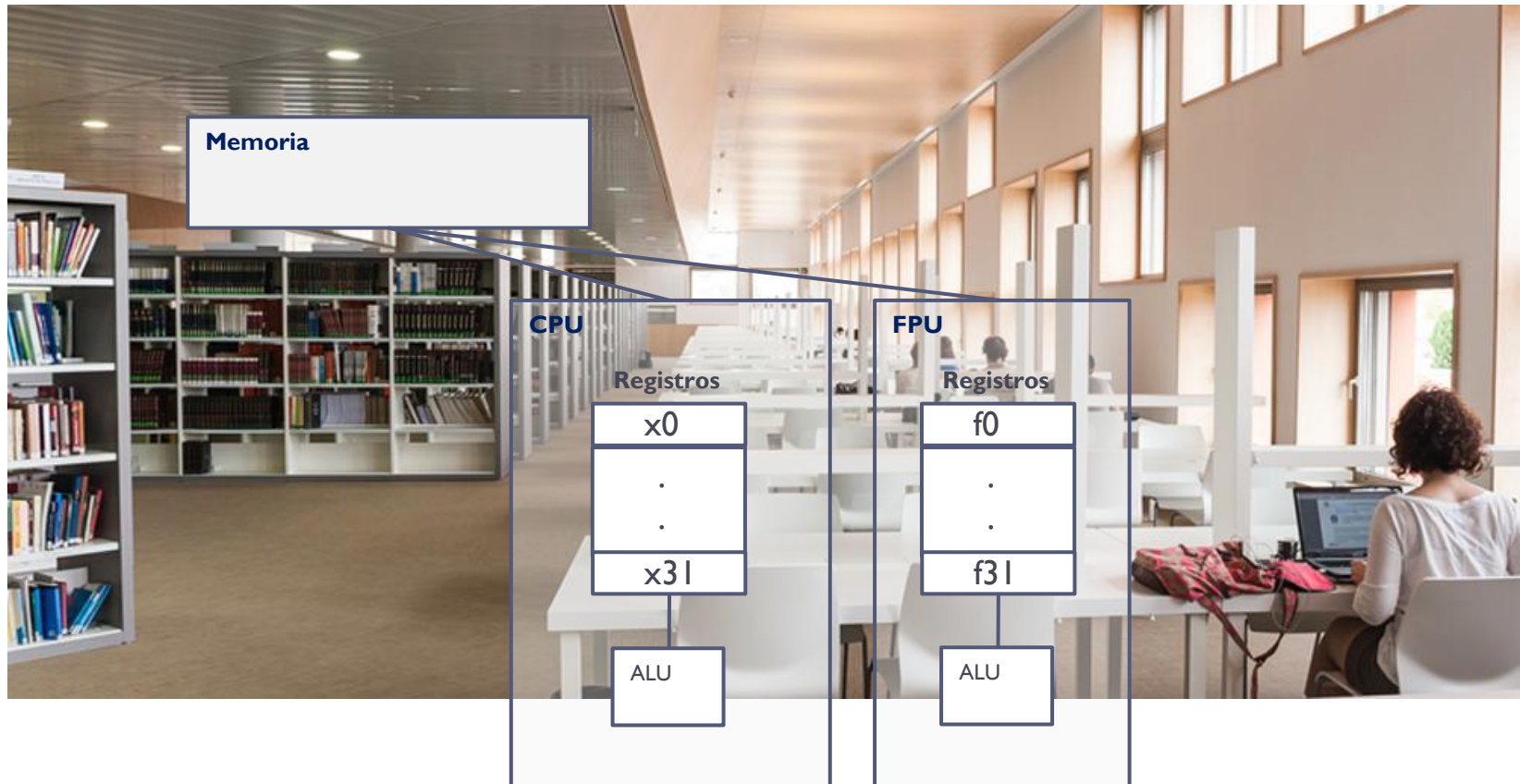
- ▶ Hay 32 registros
- ▶ En R32F (simple precisión) los registros son de 32 bits (4 bytes)
- ▶ En R32D (doble precisión) los registros son de 64 bits (8 bytes) y pueden almacenar:
 - ▶ Valores de simple precisión en los 32 bits inferiores del registro
 - ▶ Valores de doble precisión en todos los 64 bits del registro

RISC-V 32

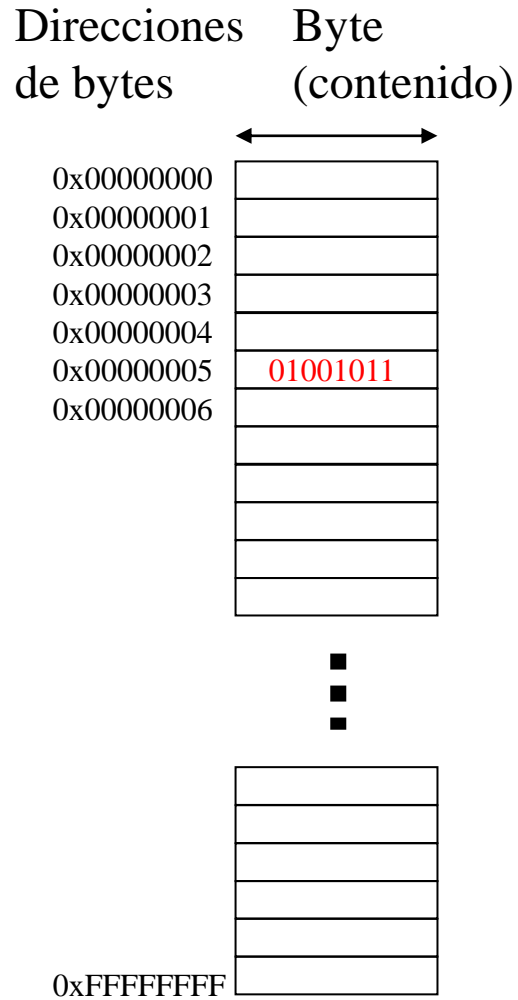


- ▶ **Registros**
 - ▶ Dentro del procesador
 - ▶ Instrucciones trabajan con valores en registros
 - ▶ 32 registros de 32 bits
- ▶ **Memoria**
 - ▶ Fuera del procesador
 - ▶ Intercambio de datos a/desde registros
 - ▶ Más capacidad pero más tiempo de acceso que los registros
 - ▶ Direcciones de 32 bits
 - ▶ 4 GiB direccionable

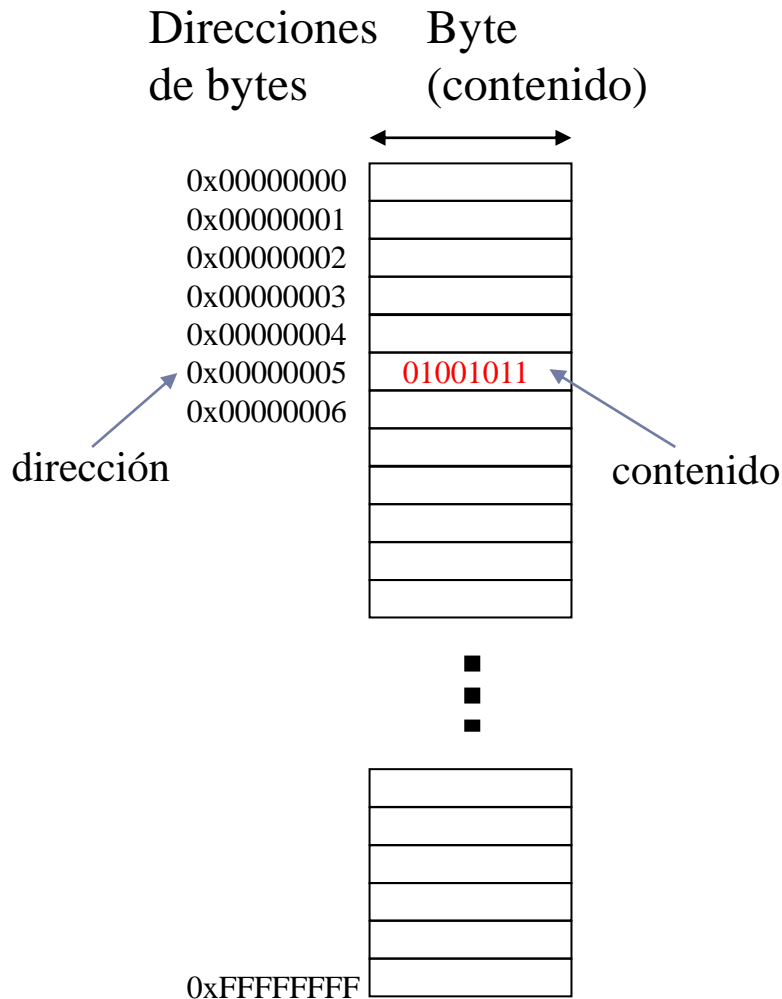
RISC-V 32 (memoria y registros)



Modelo de memoria de RISC-V 32



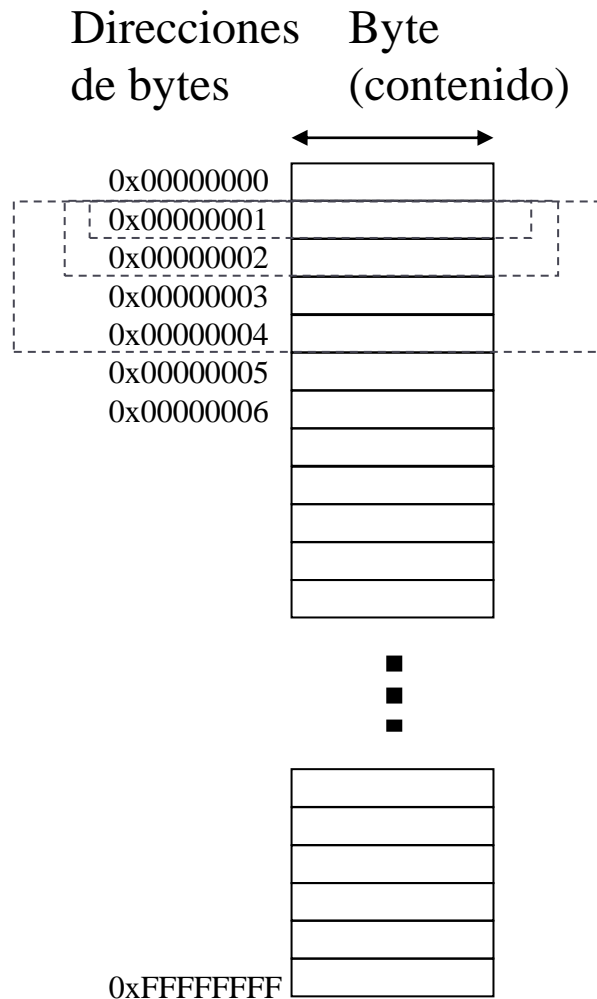
Modelo de memoria de RISC-V 32



La memoria se direcciona por bytes:

- Direcciones de 32 bits
- Contenido de cada dirección: un byte
- Espacio direccionable: 2^{32} bytes = 4GiB

Modelo de memoria de RISC-V 32



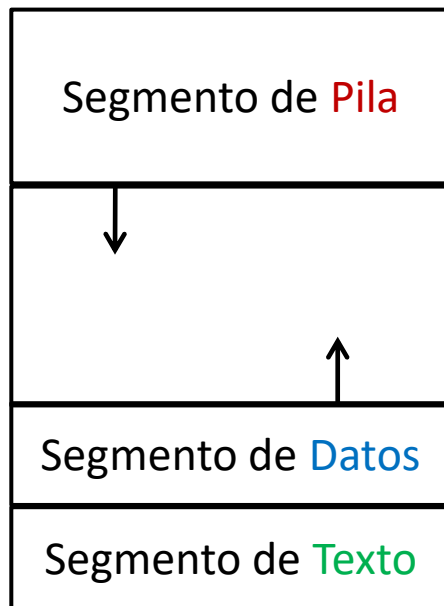
La memoria se direcciona por bytes:

- Direcciones de 32 bits
- Contenido de cada dirección: un byte
- Espacio direccionable: 2^{32} bytes = 4GiB

El acceso puede ser a:

- Bytes individuales
- Palabras (4 bytes consecutivos)
- Medias palabras (2 bytes)

Mapa de memoria de un proceso



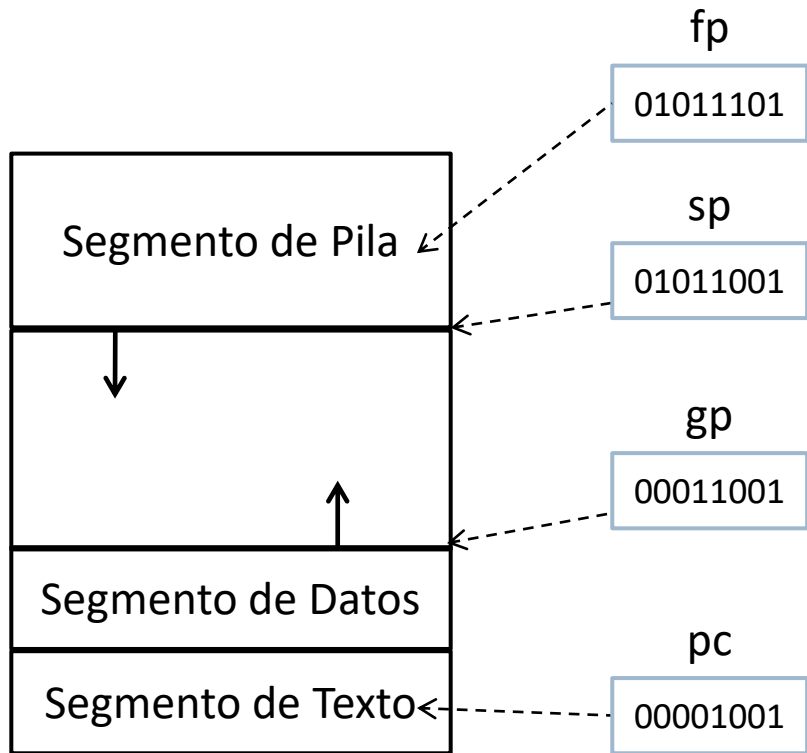
- ▶ Los procesos dividen el espacio de memoria en segmentos lógicos para organizar el contenido:

```
// variables globales
int a;

main ()
{
    // variables locales
    int b;

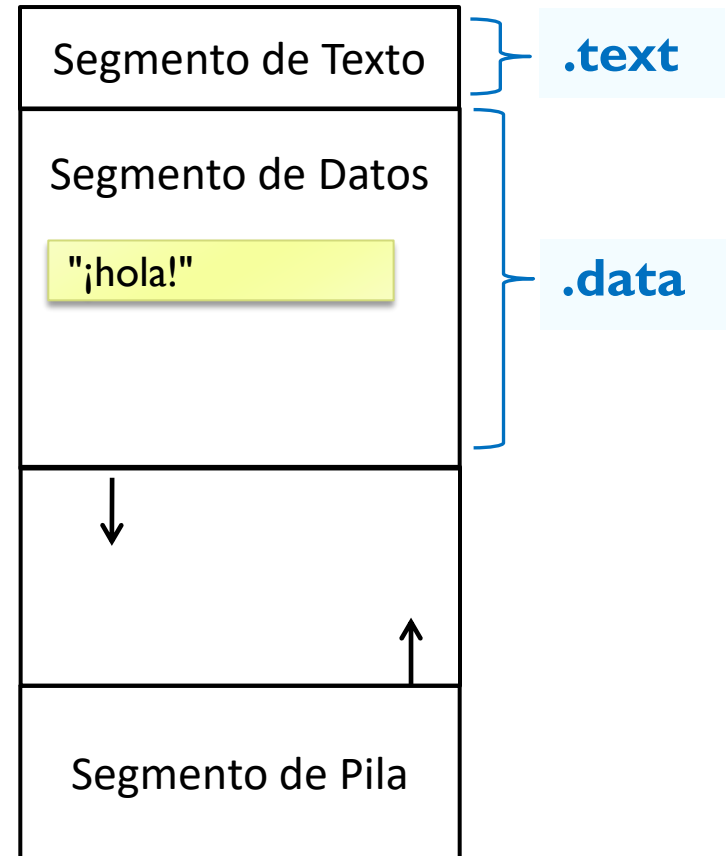
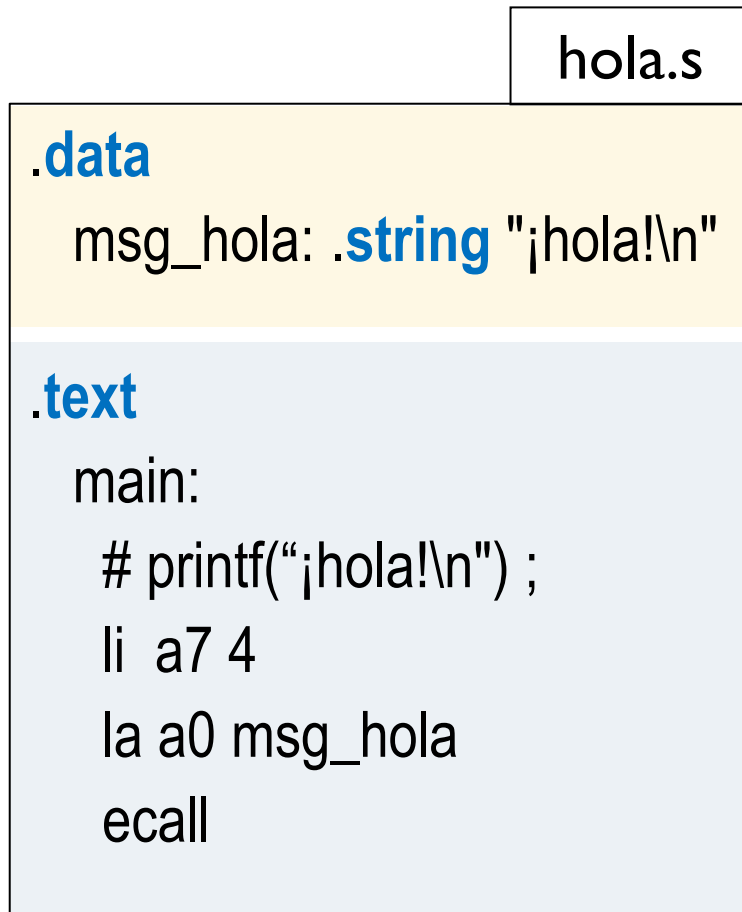
    // código
    return a + b;
}
```

Mapa de memoria de un proceso

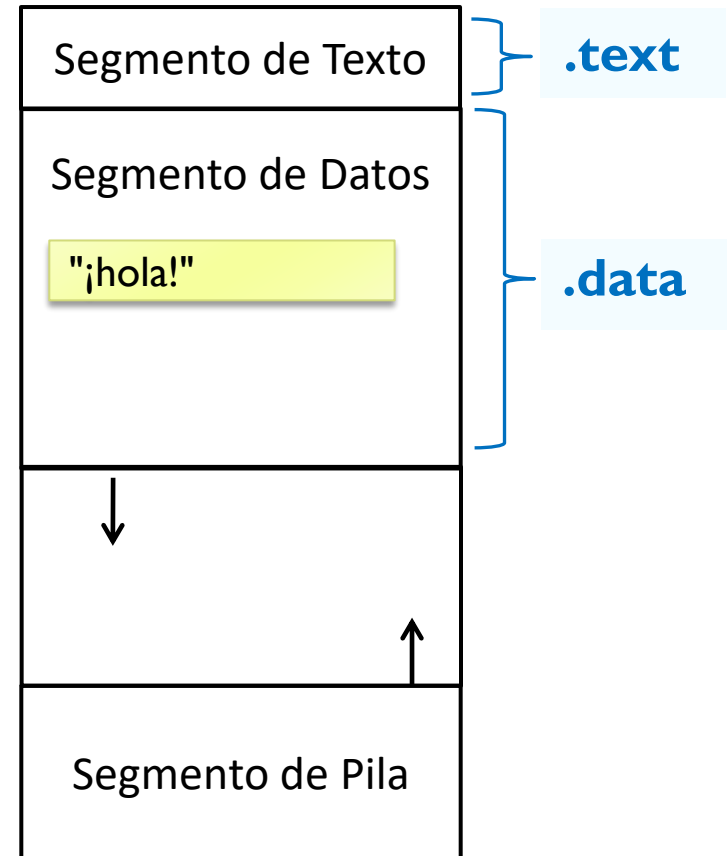
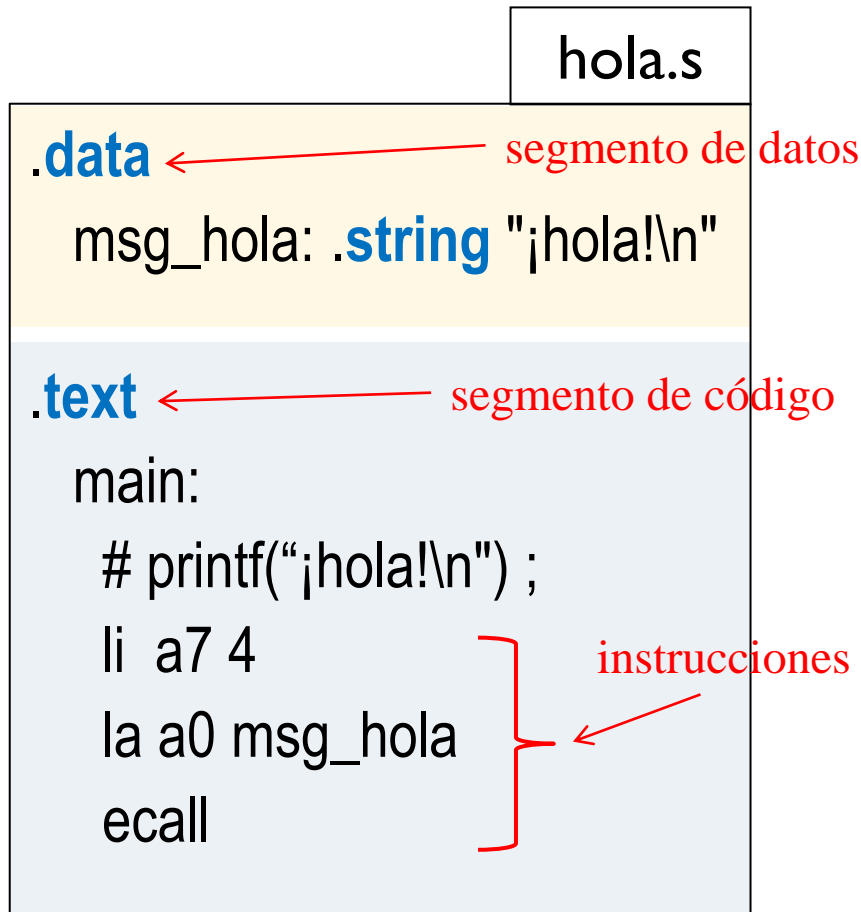


- ▶ Los procesos dividen el espacio de memoria en segmentos lógicos para organizar el contenido:
 - ▶ Segmento de pila
 - ▶ Variables locales
 - ▶ Contexto de funciones
 - ▶ Segmento de datos
 - ▶ Datos estáticos
 - ▶ Segmento de código (texto)
 - ▶ Código

Ejemplo: Hola mundo...



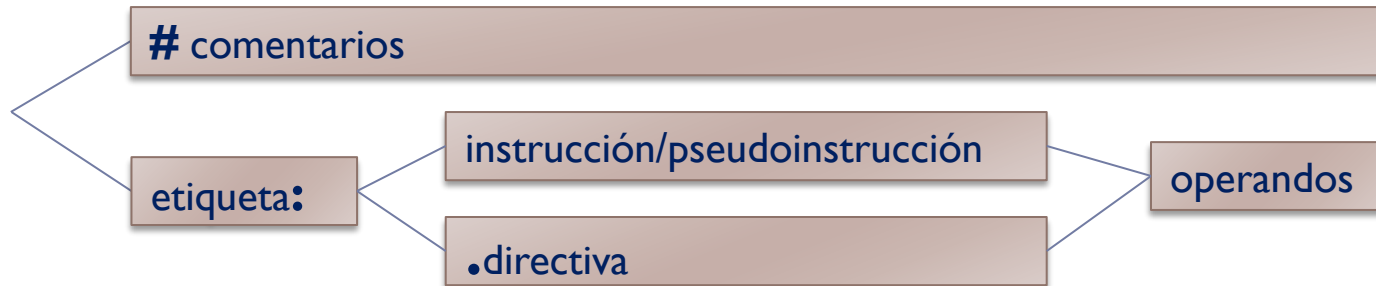
Ejemplo: Hola mundo...



Contenidos

- ▶ Fundamentos básicos de la programación en ensamblador
- ▶ Ensamblador del RISC-V 32, modelo de memoria y representación de datos
 - ▶ RISC-V: registros y memoria
 - ▶ Directivas de ensamblador
 - ▶ Servicios del sistema
 - ▶ Instrucciones para el acceso a memoria
- ▶ Formato de las instrucciones y modos de direccionamiento
- ▶ Llamadas a procedimientos y uso de la pila

Ejemplo: Hola mundo...



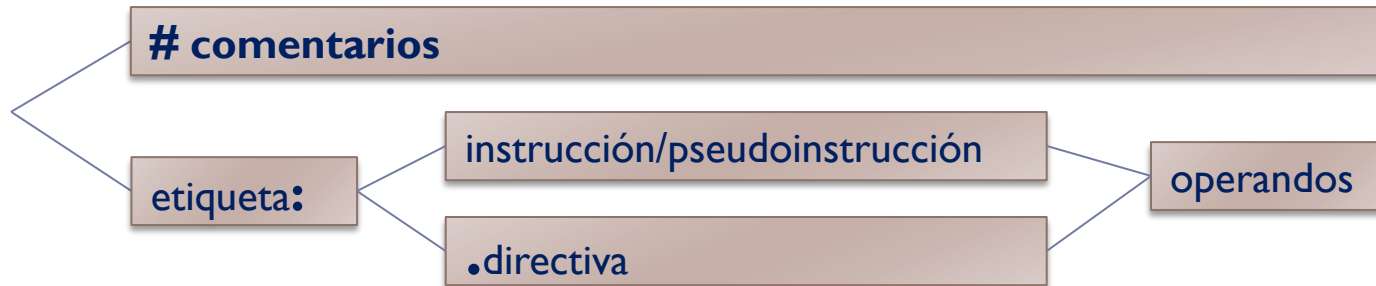
hola.s

```
.data
    msg_hola: .string "Hola mundo\n"

.text
main:
    # printf("Hola mundo\n") ;
    li a7 4
    la a0 msg_hola
    ecall
```

Ensamblador:

Comentarios con



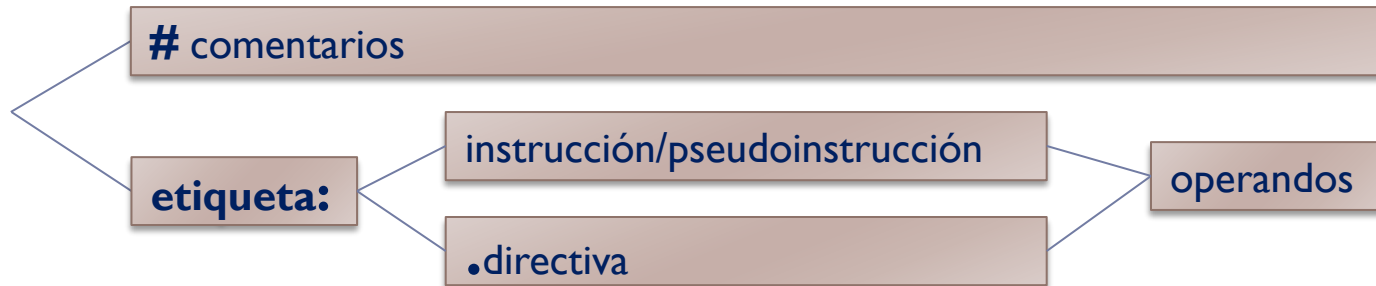
hola.s

```
.data
    msg_hola: .string "Hola mundo\n"

.text
main:
    # printf("Hola mundo\n") ;
    li a7 4
    la a0 msg_hola
    ecall
```

Ensamblador:

etiquetas terminan en :



hola.s

```
.data
msg_hola: .string "Hola mundo\n"
```

```
.text
```

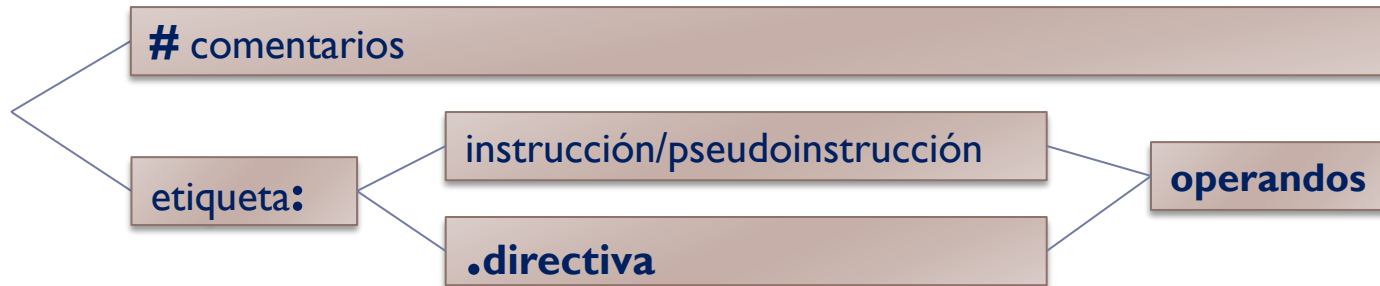
```
main:
    # printf("Hola mundo\n") ;
    li a7 4
    la a0 msg_hola
    ecall
```

msg_hola: representa la dirección de memoria
donde comienza a guardarse la cadena

main: representa la dirección de memoria
donde se guarda la primera instrucción de main

Ensamblador:

Directivas comienzan por .



hola.s

```
.data
    msg_hola: .string "Hola mundo\n"

.text
    main:
        # printf("Hola mundo\n") ;
        li a7 4
        la a0 msg_hola
        ecall
```

Programa en ensamblador: directivas de ensamblador

Directivas	Uso
.data	Siguientes elementos van al segmento de dato
.text	Siguientes elementos van al segmento de código
.string <i>"tira de caracteres"</i>	Almacena cadena caracteres terminada en carácter nulo
.byte 1, 2, 3	Almacena bytes en memoria consecutivamente
.half 300, 301, 302	Almacena medias palabras en memoria consecutivamente
.word 800000, 800001	Almacena palabras en memoria consecutivamente
.float 1.23, 2.13	Almacena float en memoria consecutivamente
.double 3.0e21	Almacena double en memoria consecutivamente
.zero 10	Reserva espacio para 10 bytes a cero en el segmento actual
.align <i>n</i>	Alinea el siguiente dato en un límite de 2^n

Definición de datos estáticos

etiqueta (dirección) tipo de dato (directiva) valor

```
.data
cadena: .string "Hola mundo\n"
i1: .word 10      # int      i1=10
i2: .word -5      # int      i2=-5
i3: .half 300     # short    i3=300
c1: .byte 100     # char     c1=100
c2: .byte 'a'     # char     c2='a'
f1: .float 1.3e-4 # float    f1=1.3e-4
d1: .double .001  # double   d1=0.001

# int v[3]={0,-1,0xffffffff}; int w[100];
v: .word 0, -1, 0xffffffff
w: .word 400
```

Representación de tipos básicos (1/3)

```
// booleanos
bool_t b1 ;
bool_t b2 = false ;

// caracteres
char c1 ;
char c2 = 'x' ;

// enteros
int  res1 ;
int  op1 = -10 ;

// coma flotante
float  f0 ;
float  f1 = 1.2 ;
double d2 = 3.0e10 ;
```

```
.data

# boolean
b1:    .zero 1
b2:    .byte 0          # 1 byte

# character
c1:    .byte
c2:    .byte 'x'        # 1 bytes

# integers
res1:  .zero 4
op1:   .word -10        # 4 bytes

# floating point
f0:    .float
f1:    .float  1.2      # 4 bytes
d2:    .double 3.0e10   # 8 bytes
```

Representación de tipos básicos (2/3)

```
// tira de caracteres (strings)
char c1[10] ;
char ac1[] = "hola" ;
```

.data

```
# strings
c1:  .zero    10      # 10 byte
ac1: .string  "hola"  # 5 bytes (!)
ac2: .byte    'h', 'o', 'l', 'a'
```

ac1:	...	
	'h'	0x0108
	'o'	0x0109
	'l'	0x010a
	'a'	0x010b
	0	0x010c
	...	0x010d

ac2:	...	
	'h'	0x0108
	'o'	0x0109
	'l'	0x010a
	'a'	0x010b
	...	0x010c
	...	0x010d

Representación de tipos básicos (3/3)

```
// vectores
int vec[5] ;
int mat[2][3] = {{11,12,13},
                 {21,22,23}};
```

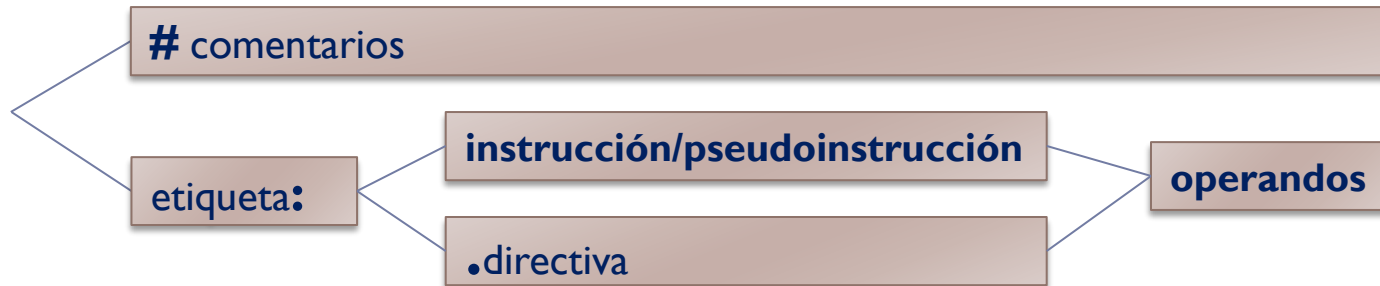
.data

```
# vectores
vec:  .zero 20      # 5 elem.*4 bytes
mat:  .word 11, 12, 13
      .word 21, 22, 23
```

	...	
mat:	11	0x0108
	12	0x010c
	13	0x0110
	21	0x0114
	22	0x0118
	23	0x011c
	...	

Ensamblador:

Instrucciones vs pseudoinstrucciones



hola.s

```
.data
    msg_hola: .string "Hola mundo\n"

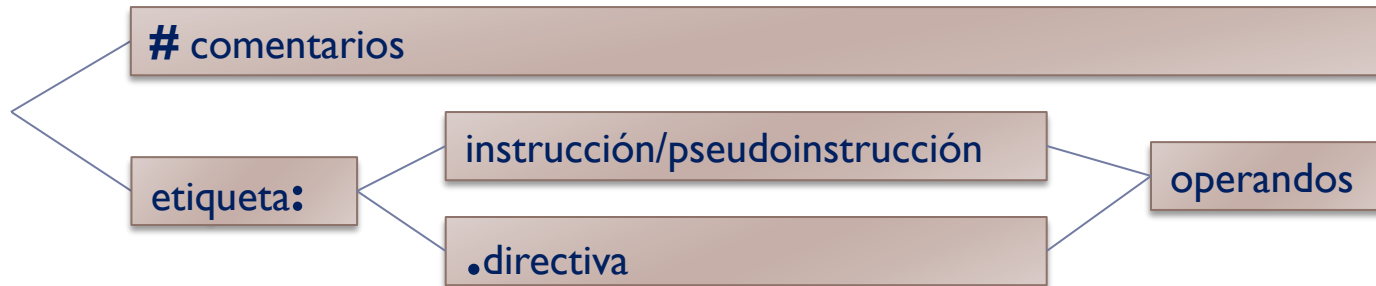
.text
main:
    # printf("Hola mundo\n") ;
    li a7 4
    la a0 msg_hola
    ecall
```

Instrucciones y pseudoinstrucciones

- ▶ Una **instrucción** en ensamblador se corresponde con una única instrucción máquina:
 - ▶ Ocupa 32 bits en RISC-V 32
 - ▶ Ej.: `addi t1, t0, 4`
- ▶ Una **pseudoinstrucción** se puede utilizar en un programa en ensamblador pero no se corresponde con ninguna instrucción máquina:
 - ▶ En el proceso de ensamblado se sustituyen por la secuencia de instrucciones máquina que realizan la misma funcionalidad.
 - Ej.: `mv t1, t2` se sustituye por: `addi t1, x0, t2`
 - `li t1, 0x00800010` se sustituye por: `lui t1, 0x00800` (20 bits)
`addi t1, t1, 0x010` (12 bits)

Ensamblador:

resumen



hola.s

```
.data
    msg_hola: .string "Hola mundo\n"

.text
main:
    # printf("Hola mundo\n") ;
    li a7 4
    la a0 msg_hola
    ecall
```

Contenidos

- ▶ Fundamentos básicos de la programación en ensamblador
- ▶ Ensamblador del RISC-V 32, modelo de memoria y representación de datos
 - ▶ RISC-V: registros y memoria
 - ▶ Directivas de ensamblador
 - ▶ Servicios del sistema
 - ▶ Instrucciones para el acceso a memoria
- ▶ Formato de las instrucciones y modos de direccionamiento
- ▶ Llamadas a procedimientos y uso de la pila

Llamadas al sistema

- ▶ CREATOR incluye un pequeño “sistema operativo”
 - ▶ Ofrece unos 12 servicios.
- ▶ Invocación:
 - ▶ Código de servicio en **a7**
 - ▶ Otros parámetros en registros concretos (ej.: **a0**, **fa0**)
 - ▶ Invocación mediante instrucción máquina **ecall**

```
# printf("hola mundo\n")  
li  a7 4  
la  a0 msg_hola  
ecall
```

Llamadas al sistema

Servicio	Código de llamada (a7)	Argumentos (a7 y fa0)	Resultado (a7 y fa0)
print_int	1	a0 = integer	
print_float	2	fa0 = float	
print_double	3	fa0 = double	
print_string	4	a0 = string	
read_int	5		integer en a0
read_float	6		float en fa0
read_double	7		double en fa0
read_string	8	a0 = buffer, a1 = longitud	
sbrk	9	a0 = cantidad	dirección en a0
exit	10		
print_char	11	a0 (código ASCII)	
read_char	12		a0 (código ASCII)

Ejemplo: Hola mundo...

hola.s

.data

```
msg_hola: .string "hola mundo\n"
```

.text

```
main:
```

```
# printf("hola mundo\n") ;
```

```
li a7 4
```

```
la a0 msg_hola
```

```
ecall
```

Servicio	Código de llamada (a7)	Argumentos (a7 y fa0)
print_int	1	a0 = integer
print_float	2	fa0 = float
print_double	3	fa0 = double
print_string	4	a0 = string

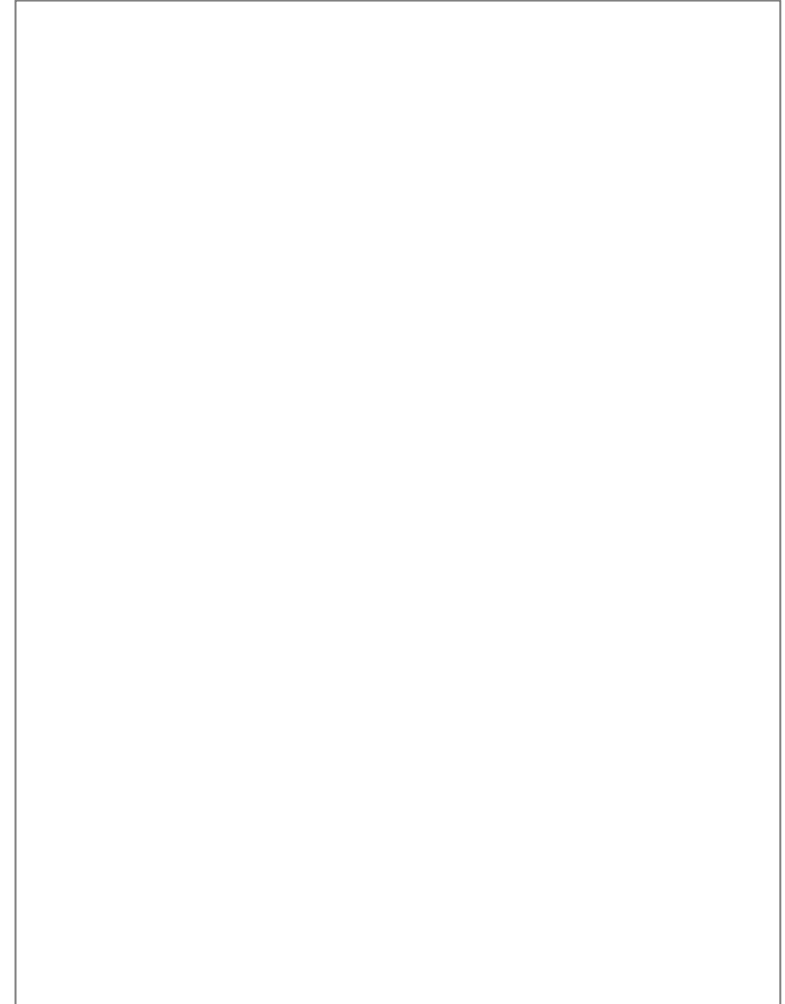
instrucción de llamada al sistema

Ejercicio

. . .

```
readInt(&valor) ;  
valor = valor + 1 ;  
printInt(valor) ;
```

. . .



Ejercicio (solución)

...

```
readInt(&valor) ;
valor = valor + 1 ;
printInt(valor) ;
```

...

Servicio	Código de llamada (a7)	Argumentos (a7 y fa0)	Resultado (a7 y fa0)
print_int	1	a0 = integer	
print_float	2	fa0 = float	
print_double	3	fa0 = double	
print_string	4	a0 = string	
read_int	5		integer en a0

...

```
# readInt(&valor)
li a7 5
ecall
mv t0 a0 # valor en t0
```

```
# valor = valor + 1
add t0 t0 1
```

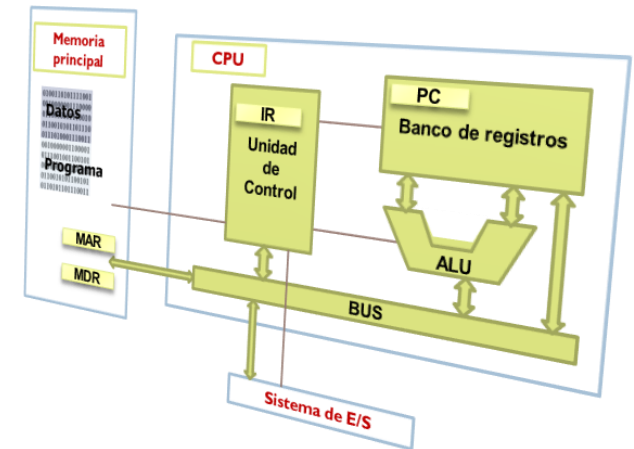
```
# printInt
mv a0 t0
li a7 1
ecall
```

...

Contenidos

- ▶ Fundamentos básicos de la programación en ensamblador
- ▶ Ensamblador del RISC-V 32, modelo de memoria y representación de datos
 - ▶ RISC-V: registros y memoria
 - ▶ Directivas de ensamblador
 - ▶ Servicios del sistema
 - ▶ Instrucciones para el acceso a memoria
- ▶ Formato de las instrucciones y modos de direccionamiento
- ▶ Llamadas a procedimientos y uso de la pila

Uso memoria



► Carga de una dirección en un registro:

► `la reg2, dir32 # reg2 ← dir32`

► Instrucciones de acceso a memoria (datos enteros):

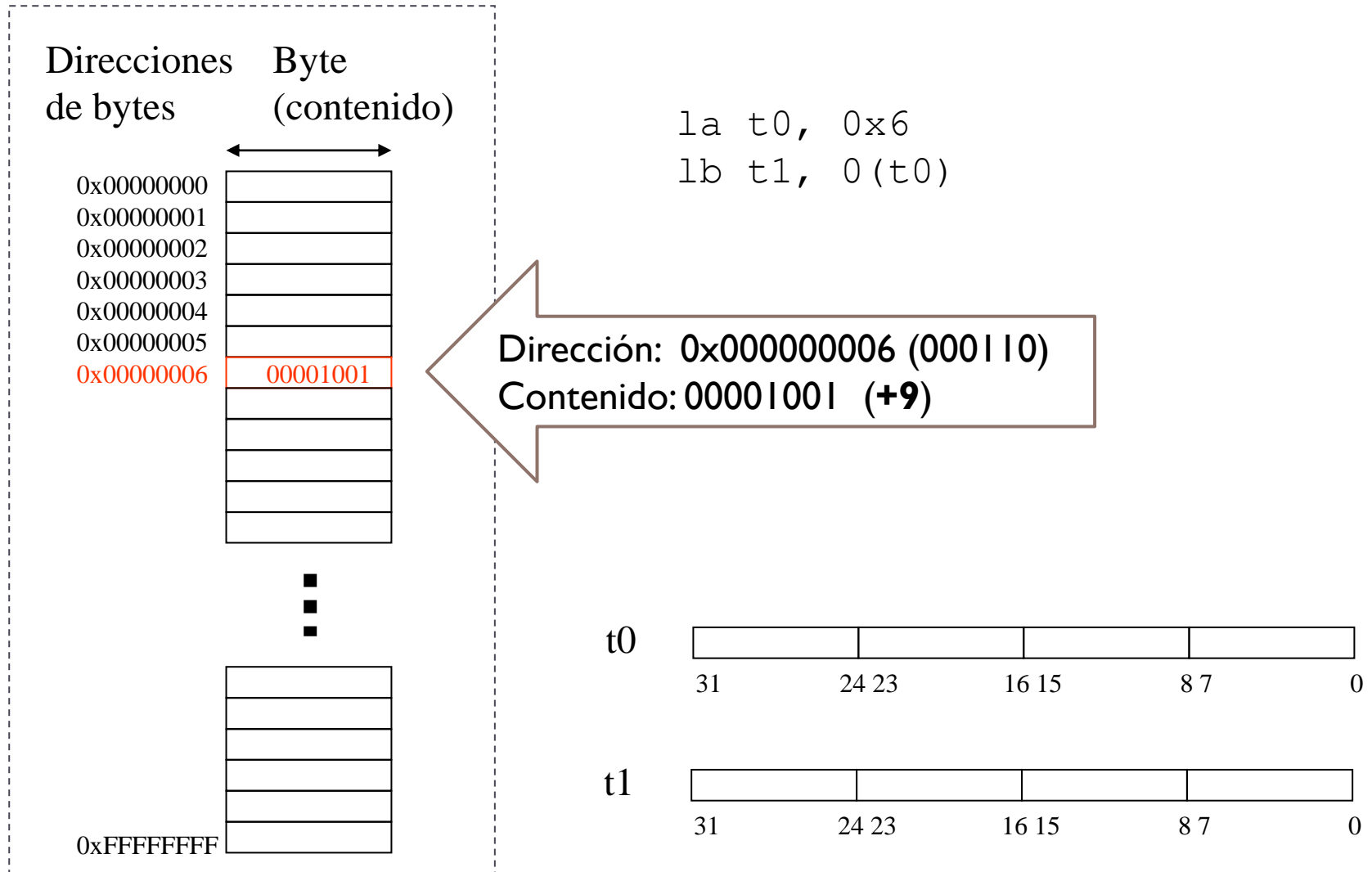
lw
sw
lb
lbu
sb

reg1,

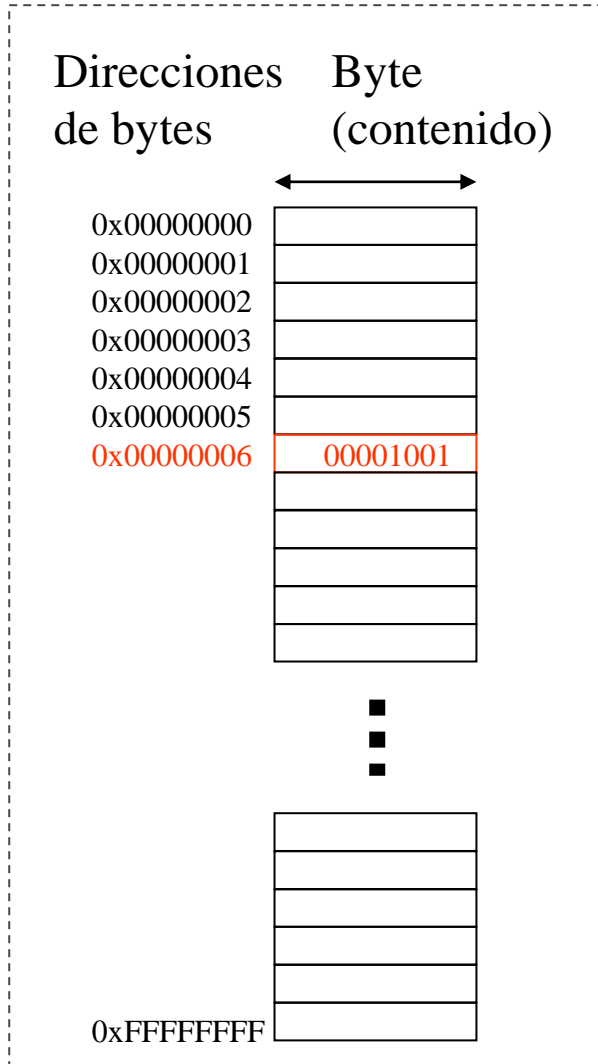
num(reg2)

- **num(registro)**: representa la dirección que se obtiene de sumar num con la dirección almacenada en el registro reg2

Acceso a bytes con lb (*load byte*)

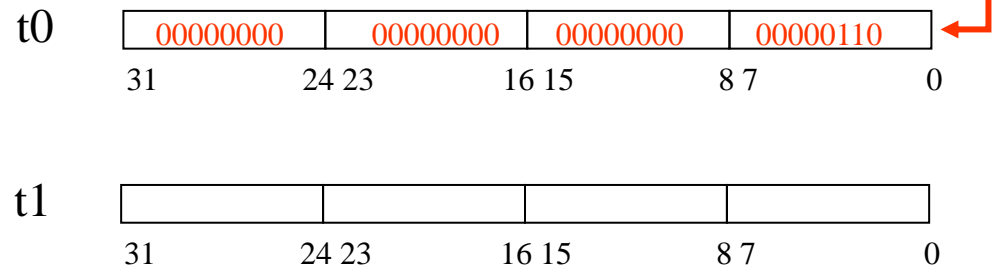


Accesso a bytes con lb (*load byte*)

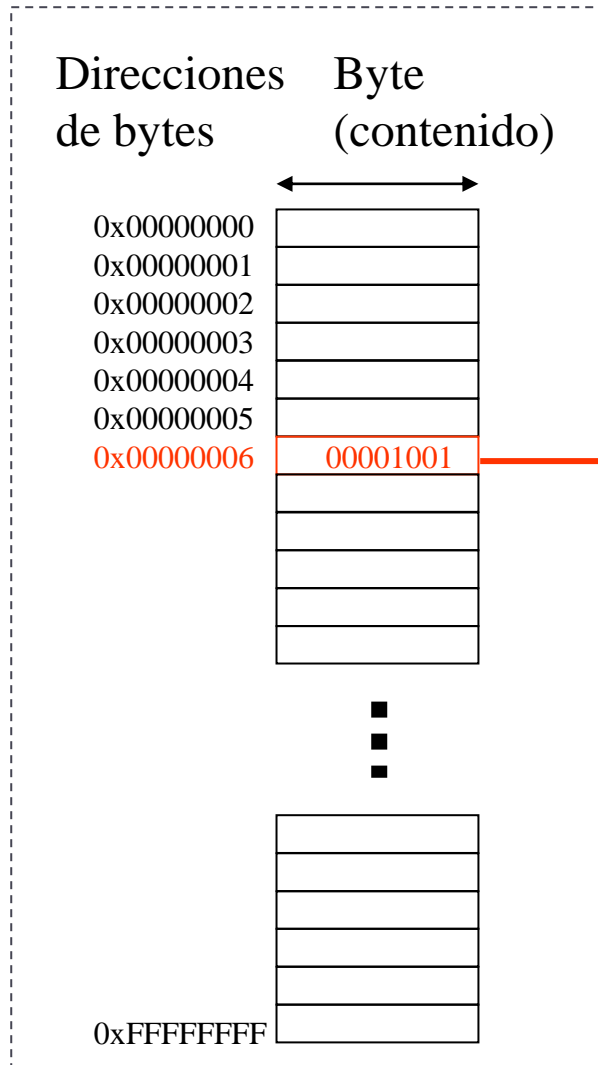


1a	t0,	0x6
1b	t1,	0(t0)

Se copia la dirección, no el contenido



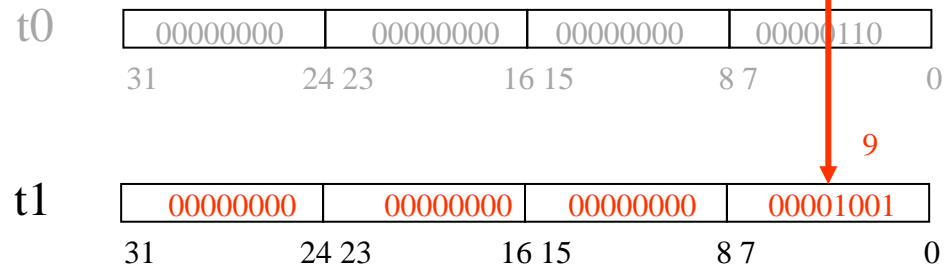
Acceso a bytes con lb (*load byte*)



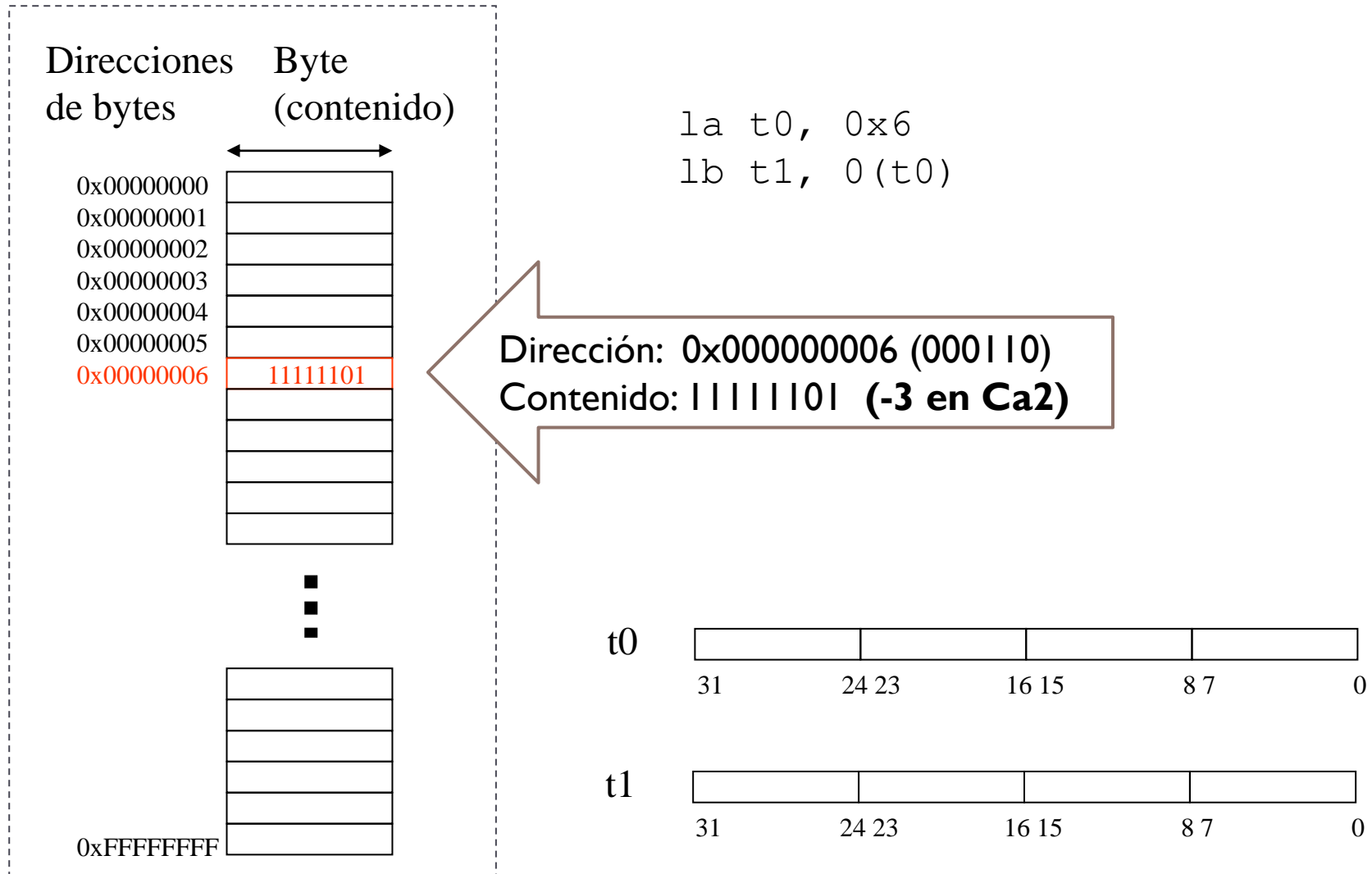
```
la t0, 0x6
```

```
lb t1, 0(t0)
```

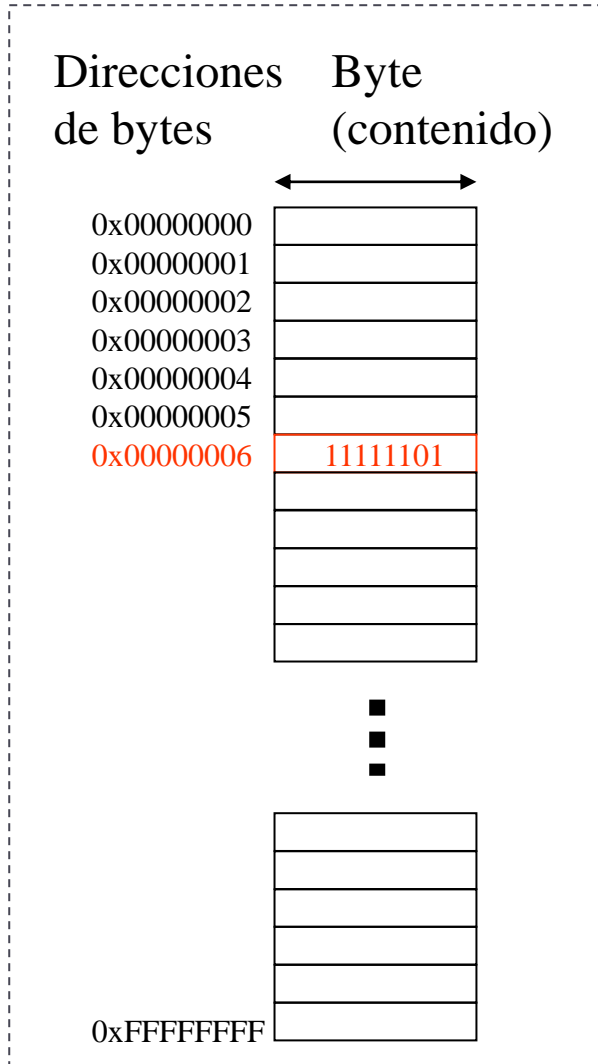
Se copia el contenido de 0x6 (un 9)



Acceso a bytes con lb (*load byte*)

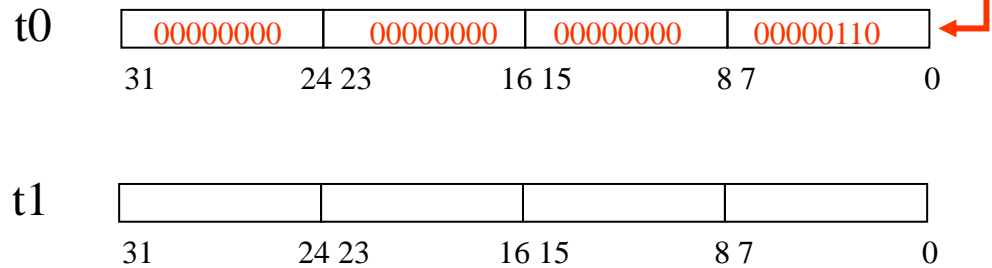


Accesso a bytes con lb (*load byte*)

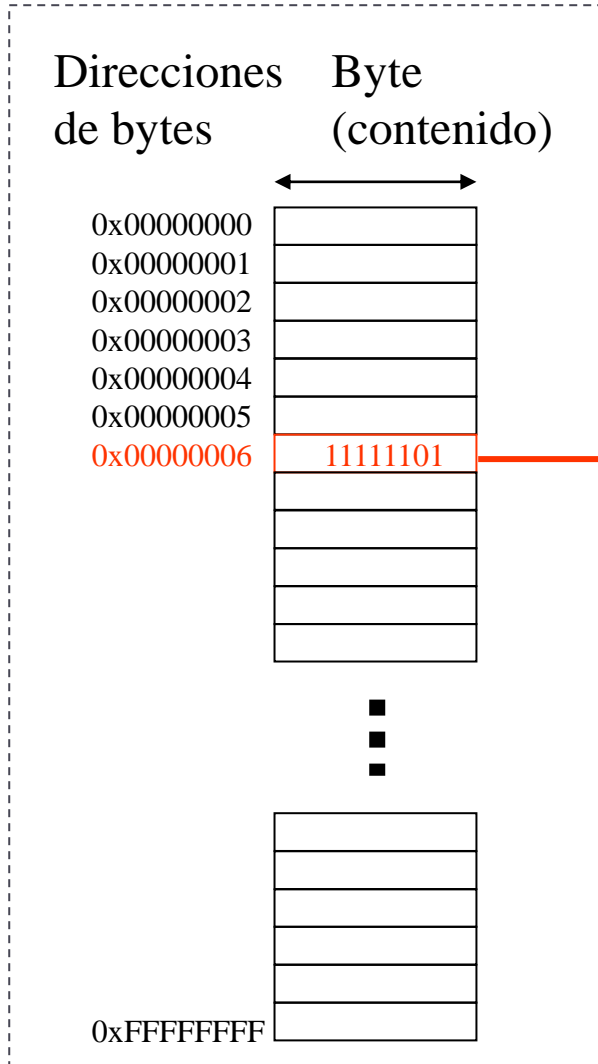


1a	t0,	0x6
1b	t1,	0(t0)

Se copia la dirección 0x6 a t0



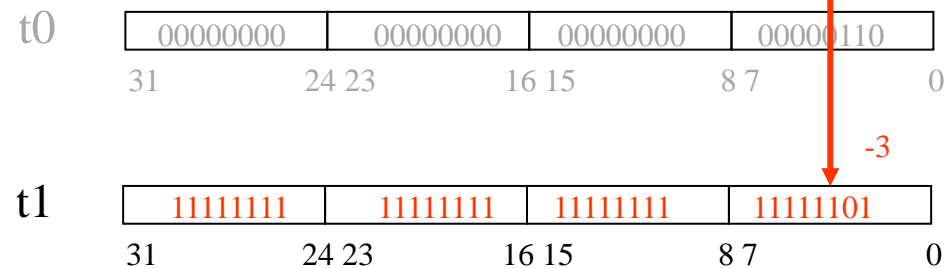
Accesso a bytes con lb (*load byte*)



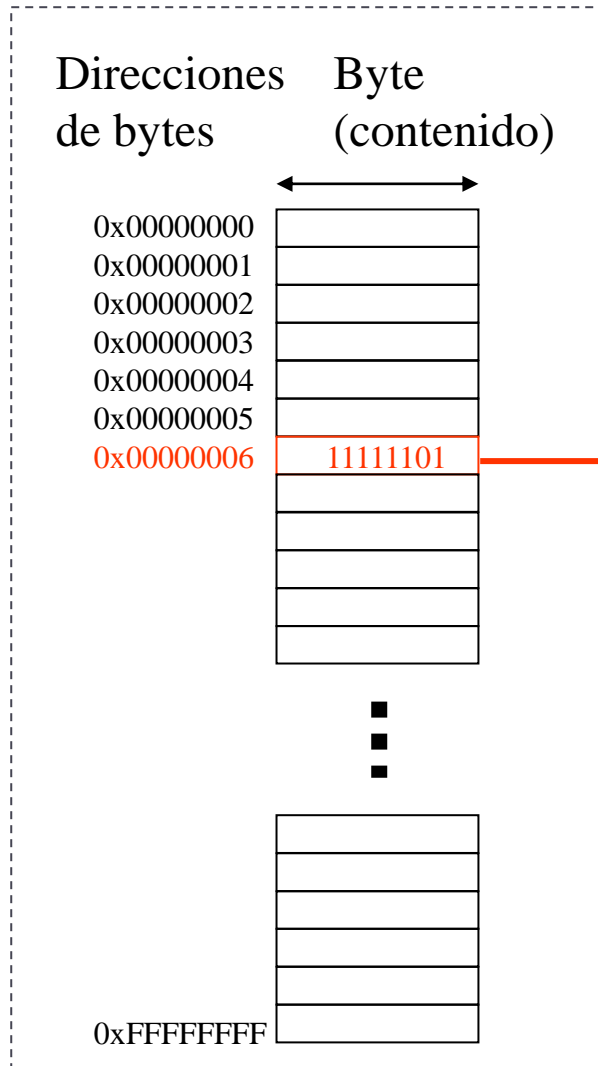
la t0, 0x6

1b $t_1, 0(t_0)$

Se copia el contenido de 0x6 (un -3)



Acceso a bytes con lb (*load byte*)

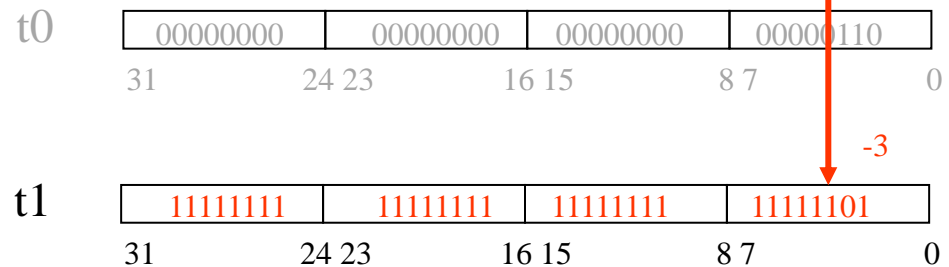


```
la t0, 0x6
```

```
lb t1, 0(t0)
```

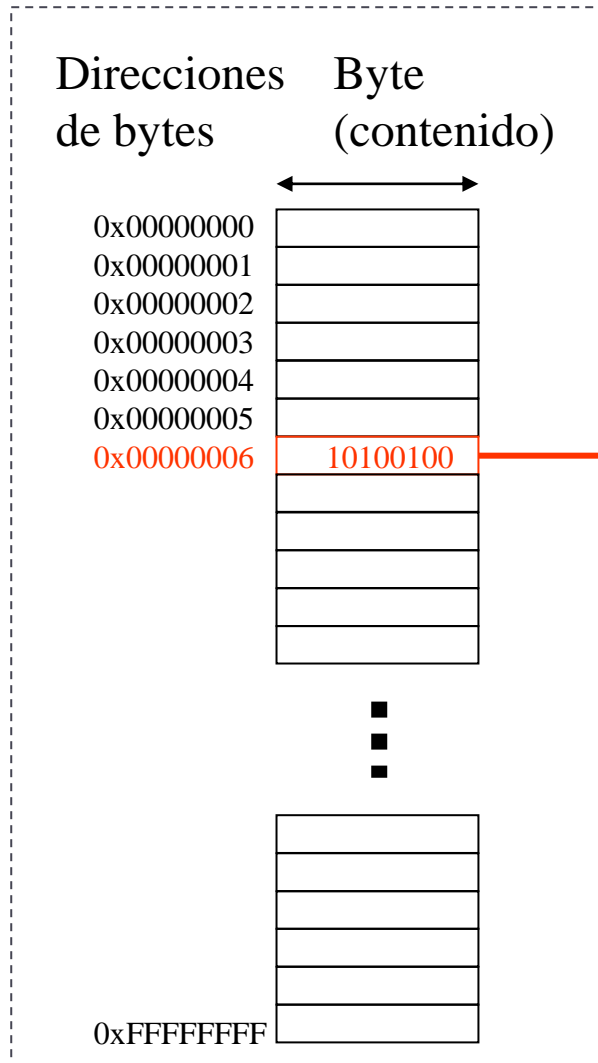
Se copia el contenido de 0x6 (un -3)

La instrucción lb mantiene el signo:
hace extensión de signo



Acceso a bytes con lb (*load byte*)

problemas accediendo a caracteres

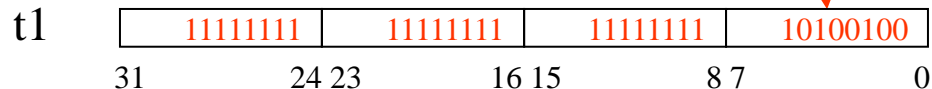


```
la t1, 0x6
lb t1, 0(t1)
```

Dirección: 0x000000006 (000110)

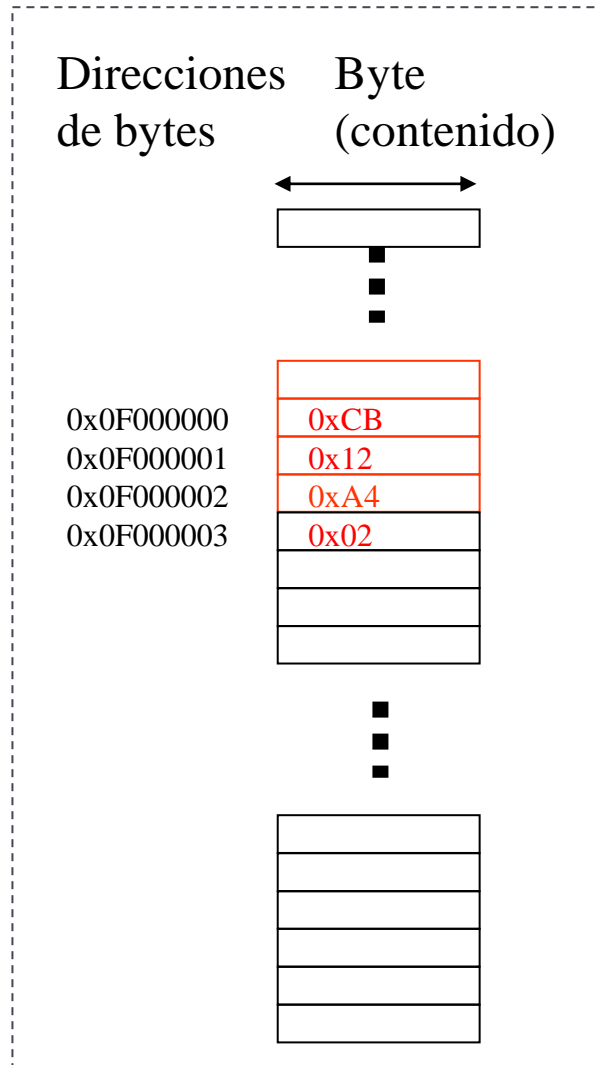
Contenido: 10100100 (código ASCII de la ñ: 164)

```
la t1, 0x6
lb t1, 0(t1)
```



Si se utiliza lb (se mantiene el signo),
el contenido del t1 **no** coincide con el
valor 164 (ñ)

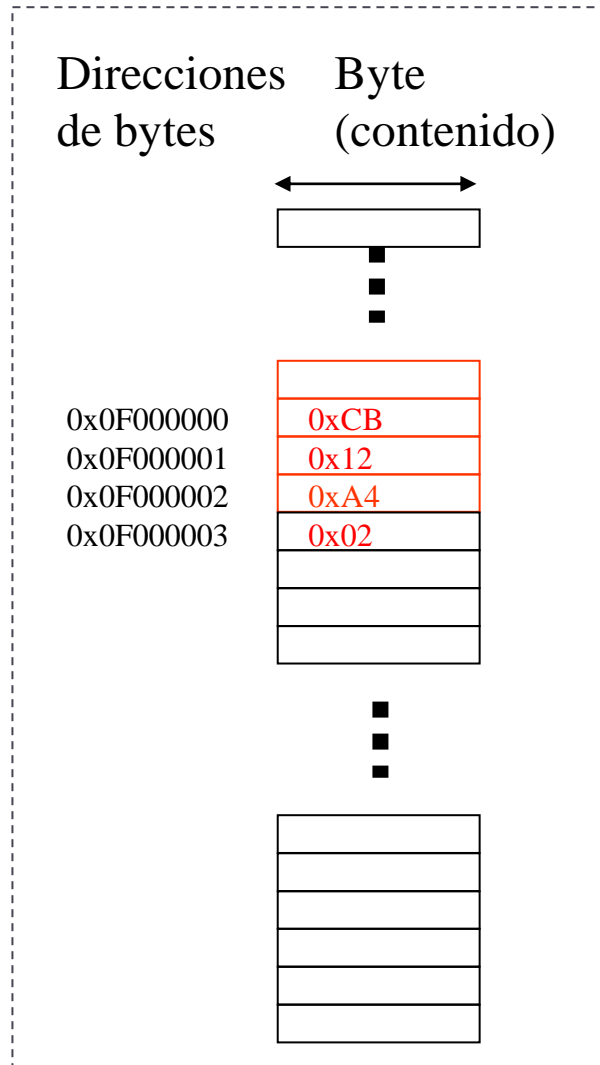
Acceso a bytes con lbu (*load byte unsigned*)



```
la    t0, 0x0F000002
lbu   t1, 0(t0)
```

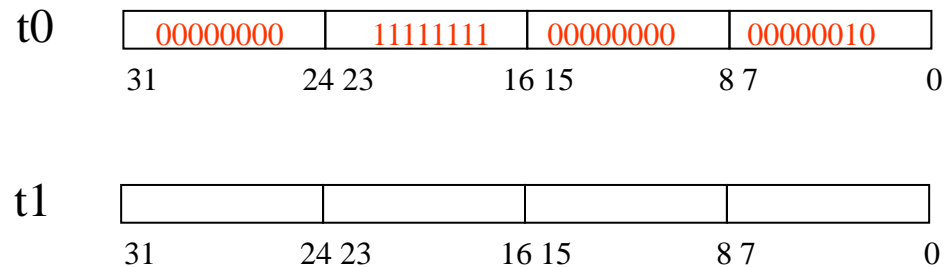


Acceso a bytes con lbu (*load byte unsigned*)

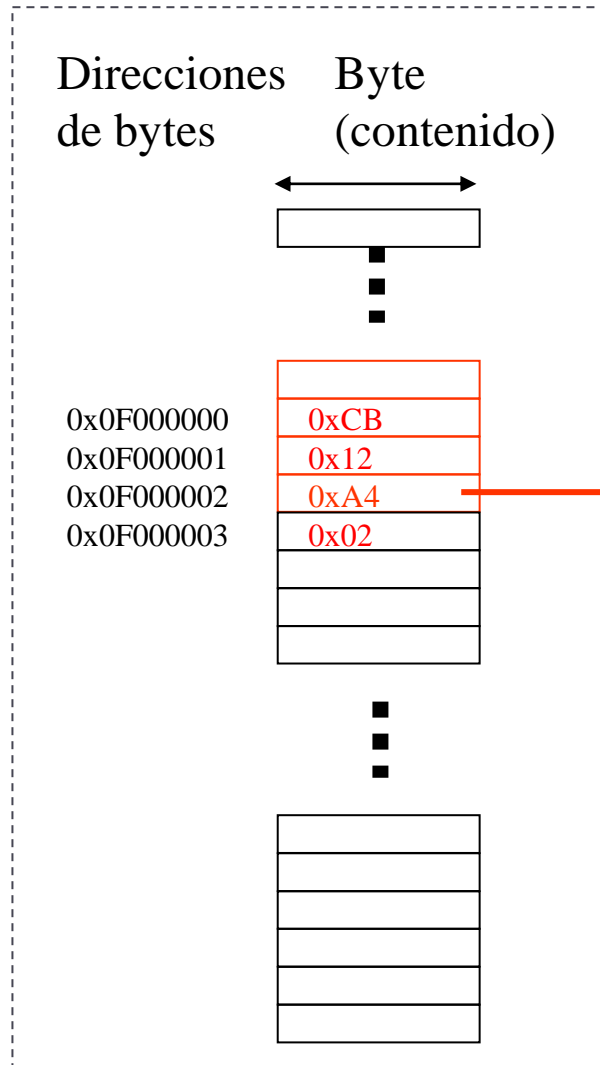


```
la    t0, 0x0F000002
lbu   t1, 0(t0)
```

Se copia la dirección, no el contenido



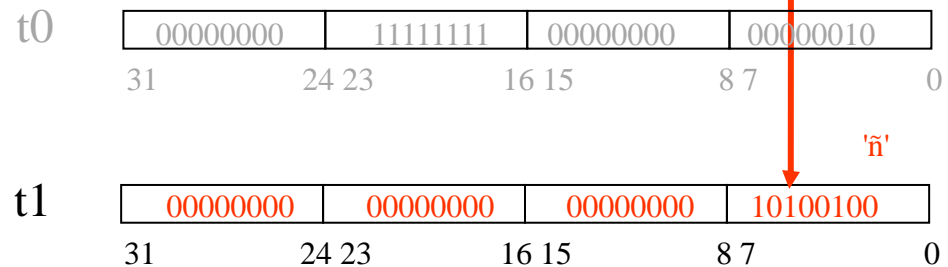
Acceso a bytes con lbu (*load byte unsigned*)



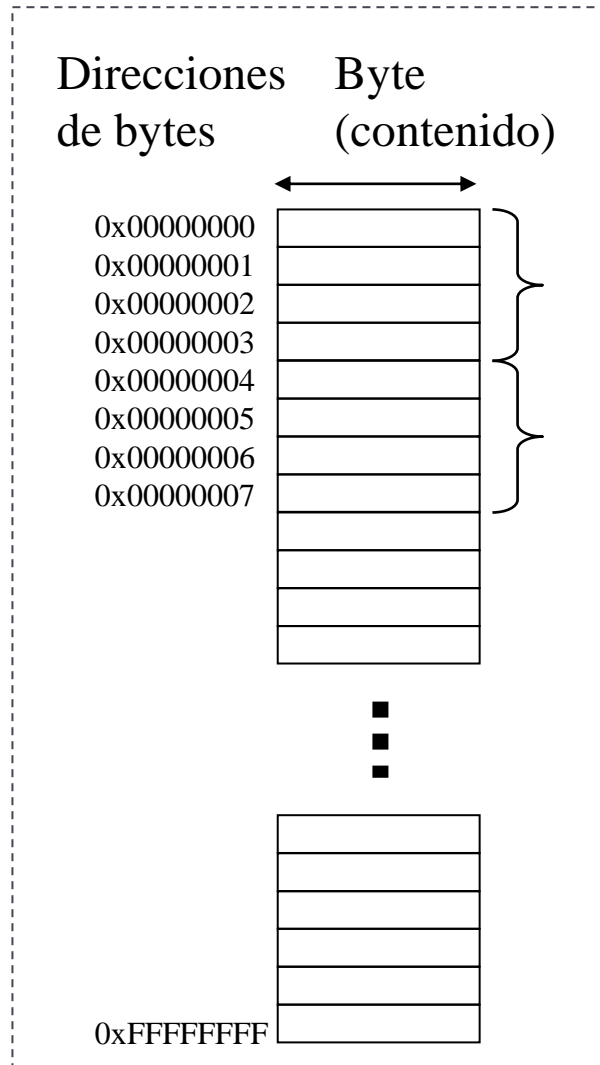
```
la    t0, 0x0F000002
```

```
lbu   t1, 0(t0)
```

Se copia el **byte** almacenado en la posición `0x0F000002` (**sin** extensión de signo)

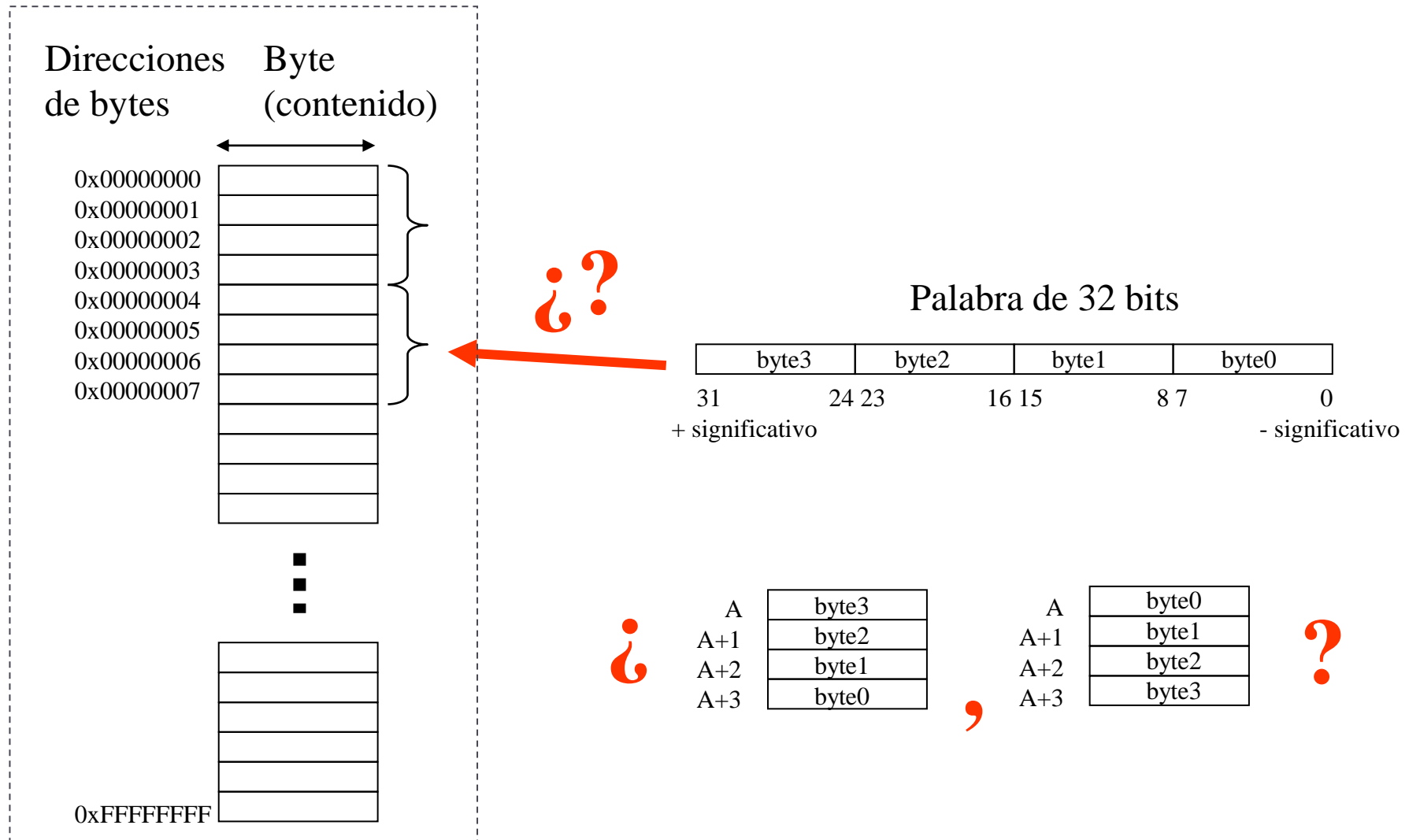


Acceso a palabras



Las palabras (32 bits, 4 bytes) se almacenan utilizando cuatro posiciones consecutivas de memoria, comenzando la primera posición en una dirección múltiplo de 4

Acceso a palabras

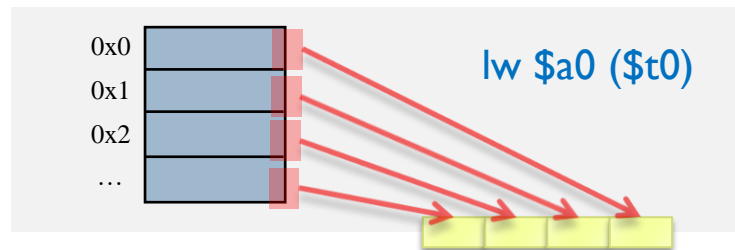


Almacenamiento de palabras en la memoria

Ordenamiento de bytes

- ▶ Hay dos tipos de ordenamiento de bytes:

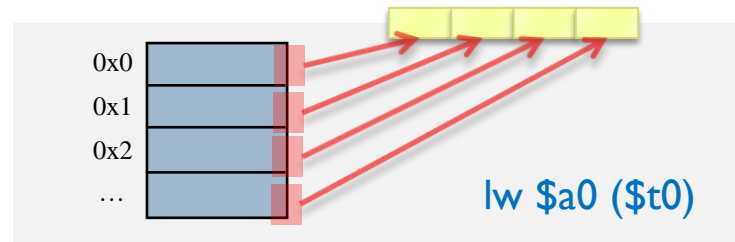
- ▶ Little-endian (Dirección 'pequeña' termina la palabra...)



AMD



- ▶ Big-endian (Dirección 'grande' termina la palabra...)



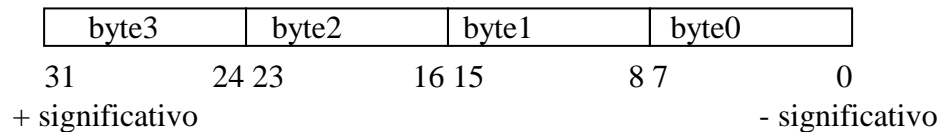
IBM
PowerPC™ (bi-endian)



Almacenamiento de palabras en la memoria

Ejemplo

Palabra de 32 bits



A	byte3
A+1	byte2
A+2	byte1
A+3	byte0

BigEndian

A	byte0
A+1	byte1
A+2	byte2
A+3	byte3

LittleEndian

El número $27_{(10)} = 11011_{(2)} = 00000000000000000000000000011011$

A	00000000
A+1	00000000
A+2	00000000
A+3	00011011

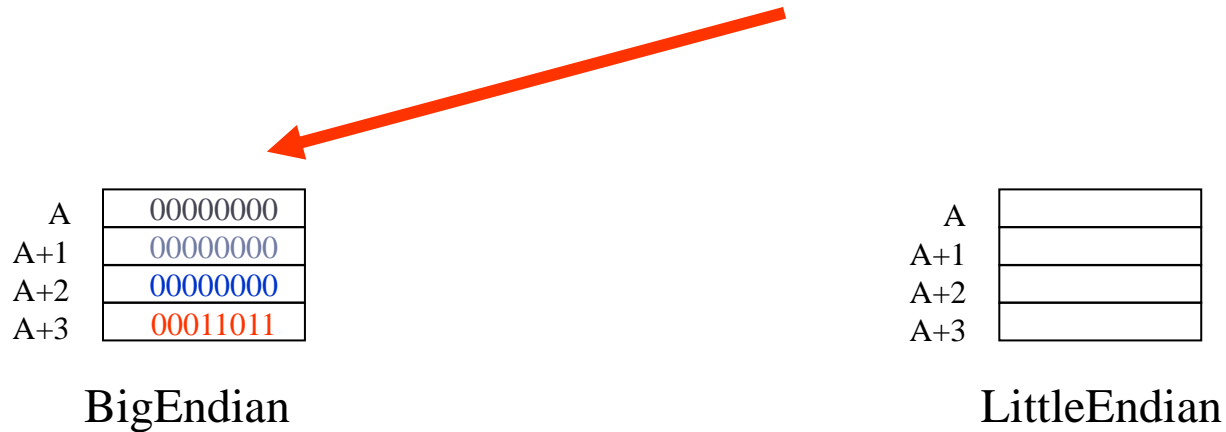
BigEndian

A	00011011
A+1	00000000
A+2	00000000
A+3	00000000

LittleEndian

Problemas en la comunicación entre computadores con arquitectura distinta

El número $27_{(10)} = 11011_{(2)} = 00000000000000000000000000011011$



Problemas en la comunicación entre computadores con arquitectura distinta

El número $27_{(10)} = 11011_{(2)} = 00000000000000000000000000011011$

A	00000000
A+1	00000000
A+2	00000000
A+3	00011011

BigEndian



Transmisión de
datos por la red

A	
A+1	
A+2	
A+3	

LittleEndian

Problemas en la comunicación entre computadores con arquitectura distinta

El número $27_{(10)} = 11011_{(2)} = 00000000000000000000000000011011$

A	00000000
A+1	00000000
A+2	00000000
A+3	00011011

BigEndian

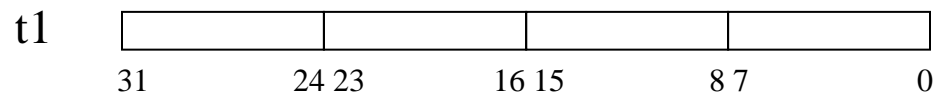
A	00000000
A+1	00000000
A+2	00000000
A+3	00011011

LittleEndian



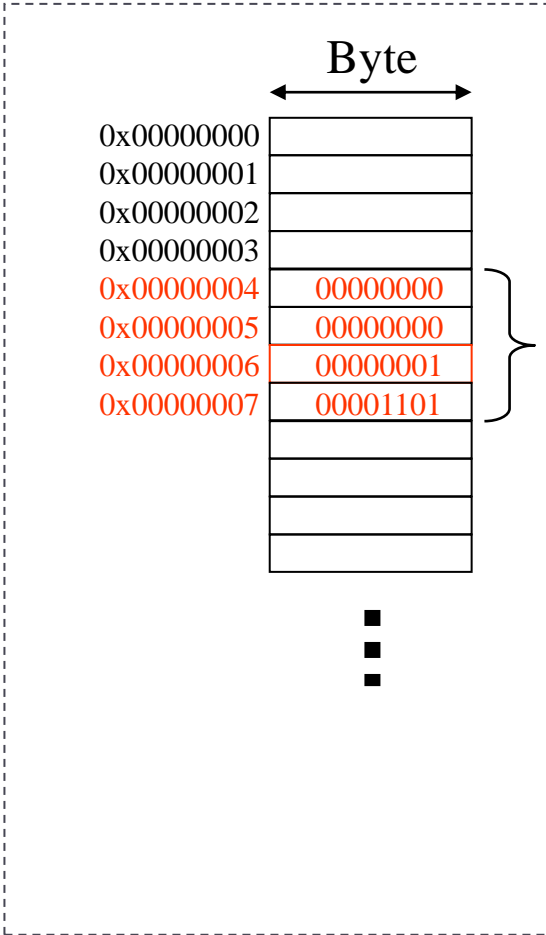
El número almacenado es: 00011011000000000000000000000000
que no es el 27

Se especifica la dirección del primer byte: acceso a la palabra almacenada a partir de la dirección 0x00000004

[illegible]

Acceso a palabras

```
lw t1, 0x4(x0)
```



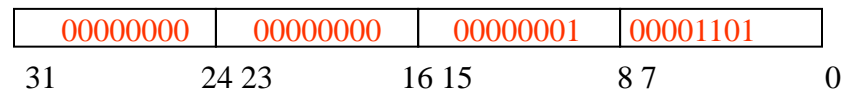
Dirección 0x00000004 (000000.....00100)

Contenido: $000000000000000000000000100001101_{(2)} = 269_{(10)}$

Computador Big Endian

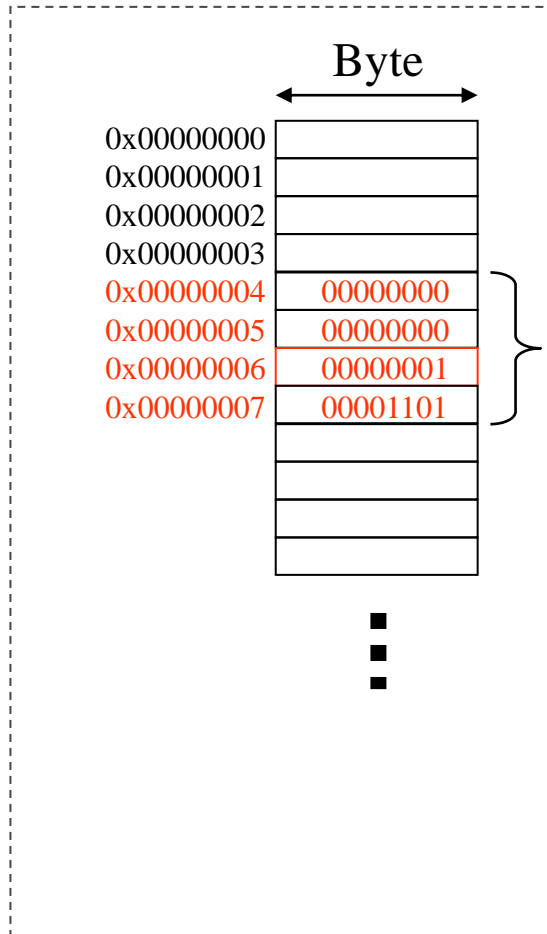
Se copia la palabra

t1



Acceso a palabras

```
lw t1, 0x4(x0)
```

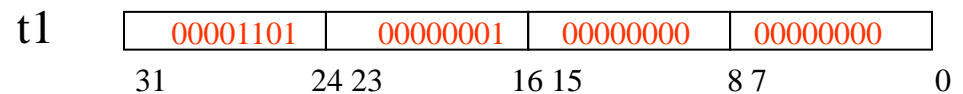


Dirección 0x00000004 (000000.....00100)

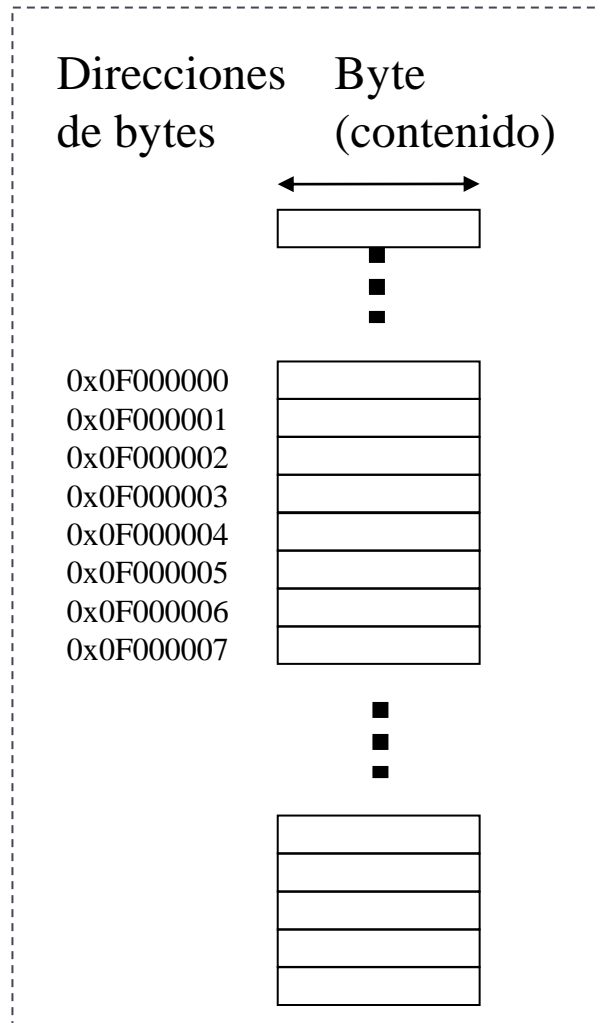
[illegible]

Computador Little Endian

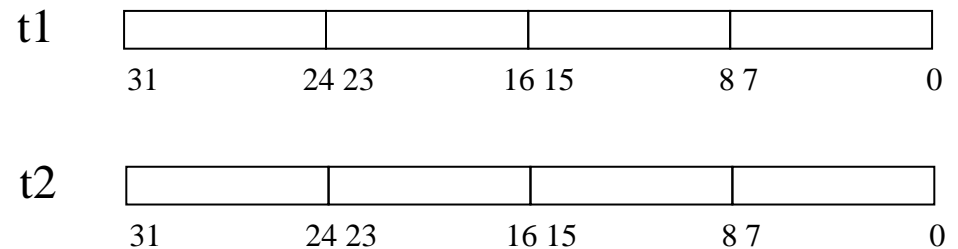
Se copia la palabra



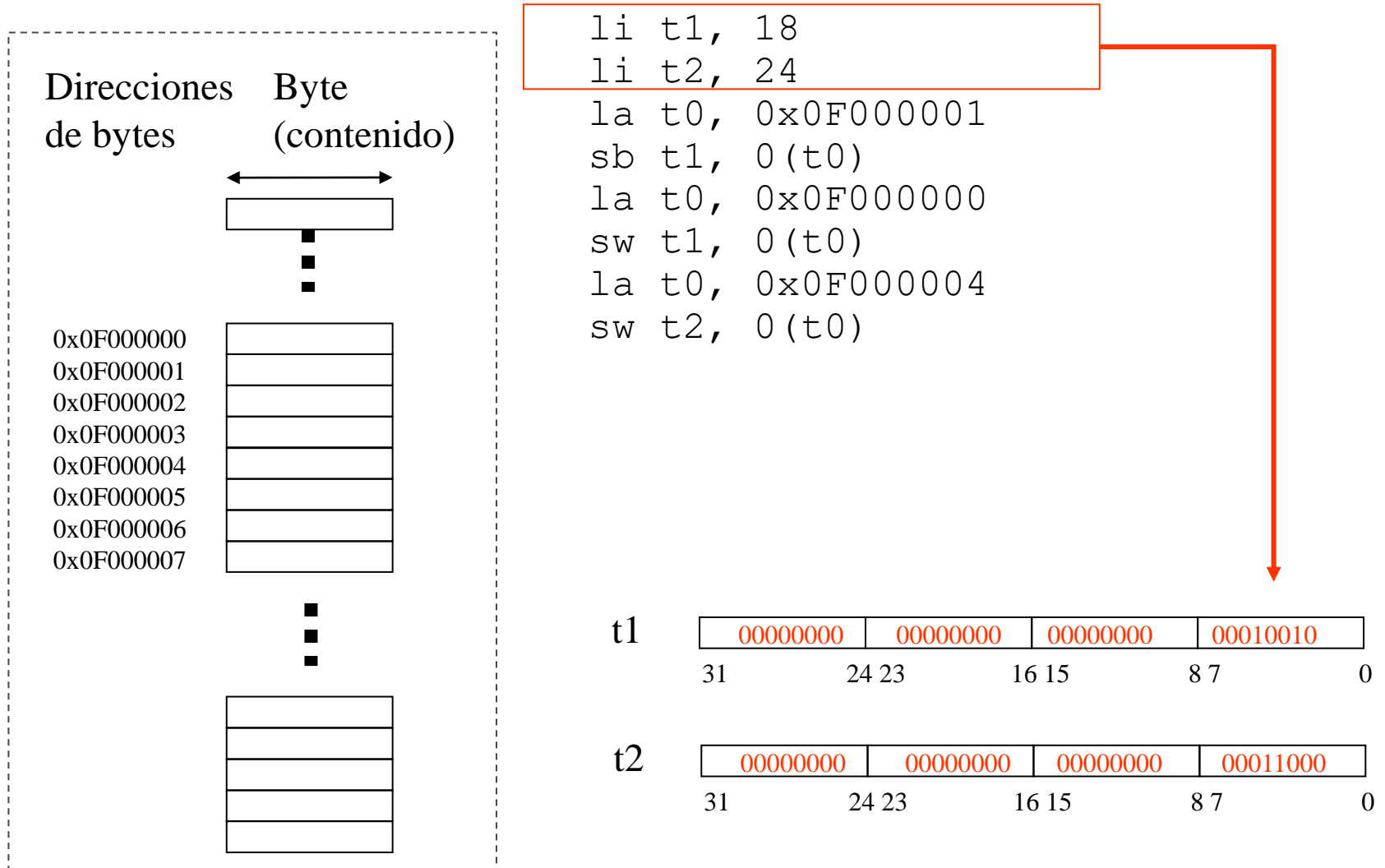
Escritura en memoria



```
li t1, 18
li t2, 24
la t0, 0x0F000001
sb t1, 0(t0)
la t0, 0x0F000000
sw t1, 0(t0)
la t0, 0x0F000004
sw t2, 0(t0)
```



Escritura en memoria



Escritura en memoria

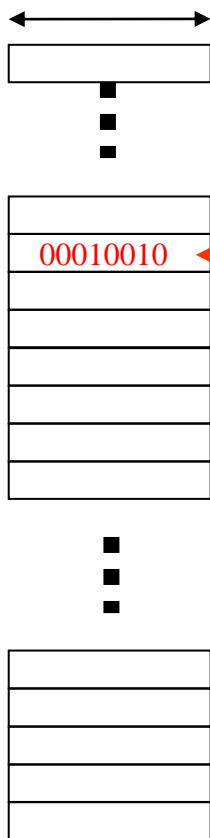
escribir un byte

```
li t1, 18
li t2, 24
la t0, 0x0F000001
sb t1, 0(t0)
la t0, 0x0F000000
sw t1, 0(t0)
la t0, 0x0F000004
sw t2, 0(t0)
```

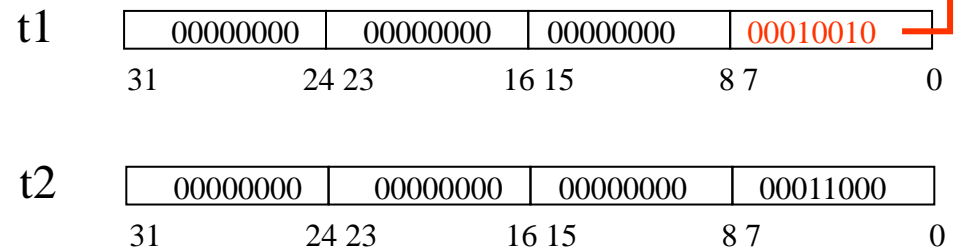
Direcciones
de bytes

Byte
(contenido)

0x0F000000
0x0F000001
0x0F000002
0x0F000003
0x0F000004
0x0F000005
0x0F000006
0x0F000007



Escribe el contenido del byte **menos**
significativo del registro t1 en memoria

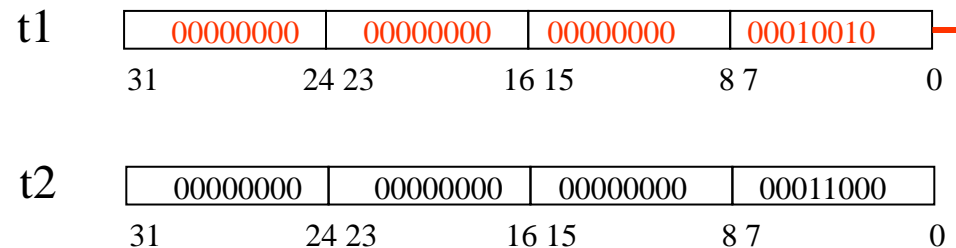


Escritura en memoria

escribir una palabra

```
li t1, 18
li t2, 24
la t0, 0x0F000001
sb t1, 0(t0)
la t0, 0x0F000000
sw t1, 0(t0)
la t0, 0x0F000004
sw t2, 0(t0)
```

Escribe el contenido de un registro en memoria (la palabra completa)



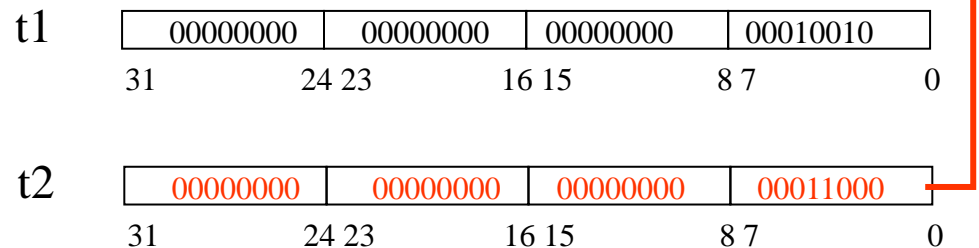
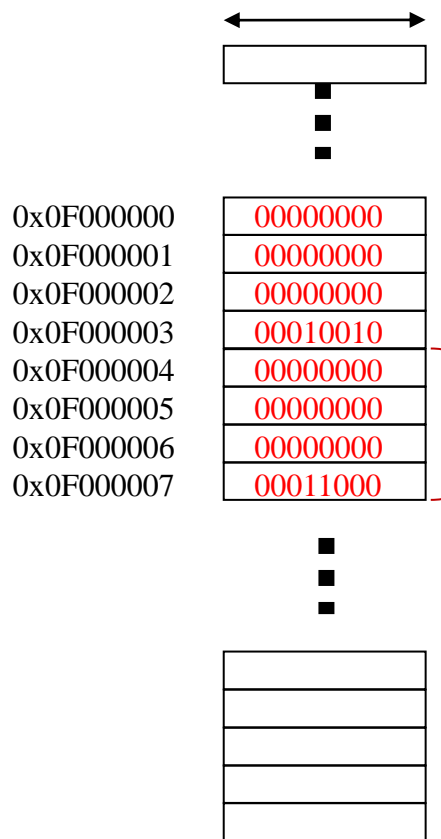
Escritura en memoria

escribir una palabra

```
li t1, 18
li t2, 24
la t0, 0x0F000001
sb t1, 0(t0)
la t0, 0x0F000000
sw t1, 0(t0)
la t0, 0x0F000004
sw t2, 0(t0)
```

Escribe el contenido de un registro en memoria (la palabra completa)

Direcciones de bytes Byte (contenido)



Resumen

- ▶ Un programa para poder ejecutarse debe estar cargado junto con sus datos en memoria
 - ▶ Todas las instrucciones y los datos se almacenan en memoria
 - ▶ Por tanto todo (instrucciones y datos) tiene una dirección de memoria
- ▶ En un computador como el RISC-V 32 (de 32 bits)
 - ▶ Los registros son de 32 bits
 - ▶ En la memoria se pueden almacenar bytes (8 bits)
 - ▶ memoria → registro: `lb/lbu rd num(rs1)`
 - ▶ registro → memoria: `sb rd num(rs1)`
 - ▶ En la memoria se pueden almacenar palabras (32 bits)
 - ▶ memoria → registro: `lw rd num(rs1)`
 - ▶ registro → memoria: `sw rd num(rs1)`

`num(reg)`: representa la dirección que se obtiene de sumar `num` con la dirección almacenada en el registro

Ejemplos de instrucciones

- ▶ `la t0, 0x0F000002`
 - ▶ Direccionamientos directo a registro + inmediato.
Se carga en t0 el valor 0x0F000002
- ▶ `lbu t0, etiqueta(x0)`
 - ▶ Direccionamientos directo a reg. + relativo a registro base.
Se carga en t0 el byte en la dirección de memoria `etiqueta`
- ▶ `lb t0, 0(t1)`
 - ▶ Direccionamientos directo a reg. + relativo a registro base.
Se carga en t0 el byte en la posición de memoria almacenada en `t1+0`
- ▶ `la t0, 0x0F000000`
`sw t1, 0(t0)`
 - ▶ Copia la palabra almacenada en t1 en la dirección 0x0F000000
- ▶ `la t0, 0x0F000000`
`sb t1, 0(t0)`
 - ▶ Copia el byte almacenado en t1 (el menos significativo) en la dirección 0x0F000000

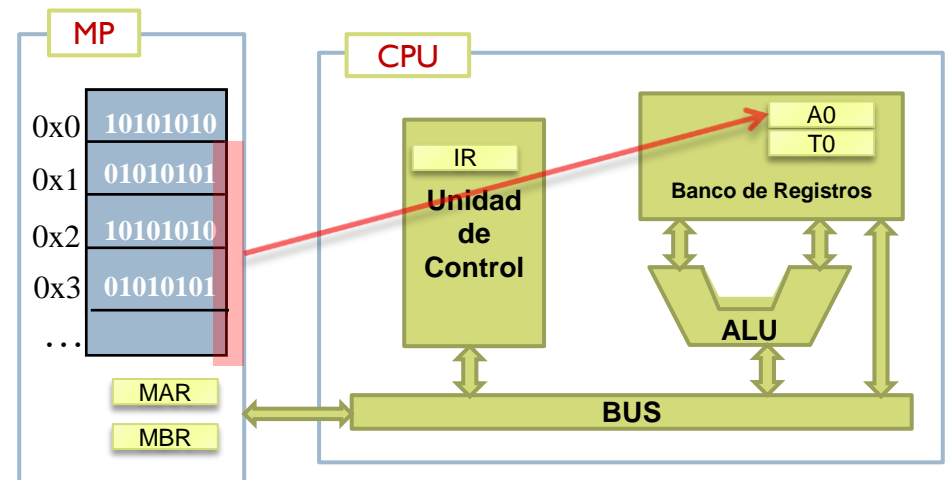
Operaciones de memoria: coma flotante

- ▶ **flw rd, 10(rs1)**
 - ▶ Carga el valor simple precisión almacenado en la dirección (rs1+10) en el registro de coma flotante rd.
- ▶ **fsw rs, 10(rd1)**
 - ▶ Almacena el valor simple precisión del registro rs en la dirección (rd1+10).
- ▶ **fld rd, 10(rs1)**
 - ▶ Carga el valor doble precisión almacenado en la dirección (rs1+10) en el registro rd.
- ▶ **fsd rs, 10(rd1)**
 - ▶ Almacena el valor doble precisión del registro rs en la dirección (rd1+10).

Transferencia de datos: peculiaridades alineamiento y tamaño de acceso

► Peculiaridades:

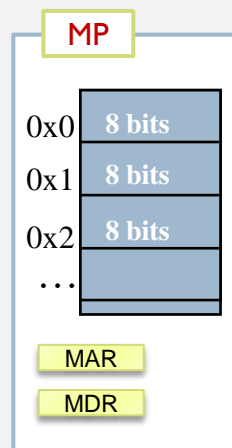
- Tamaño de acceso por defecto
- Alineamiento de los elementos en memoria



Direccionamiento a nivel de palabra o de byte

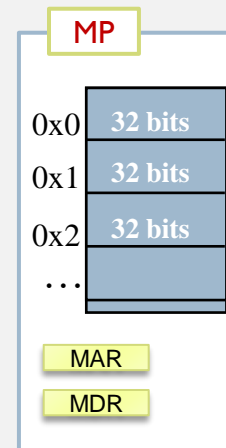
- ▶ La **memoria principal** es similar a un gran vector de una dimensión
- ▶ Una **dirección de memoria** es el índice del vector
- ▶ Hay dos **tipos de direccionamiento**:

- ▶ Direccionamiento por bytes



- ▶ Cada elemento de la memoria es un **byte**
- ▶ Transferir una **palabra** supone transferir **4 bytes**

- ▶ Direccionamiento por palabras



- ▶ Cada elemento de la memoria es una **palabra**
- ▶ **lb** supone transferir una **palabra** y quedarse con un **byte**

Alineación de datos

- ▶ **En general:**

- ▶ Un dato que ocupa K bytes está alineado cuando la dirección D utilizada para accederlo cumple que:

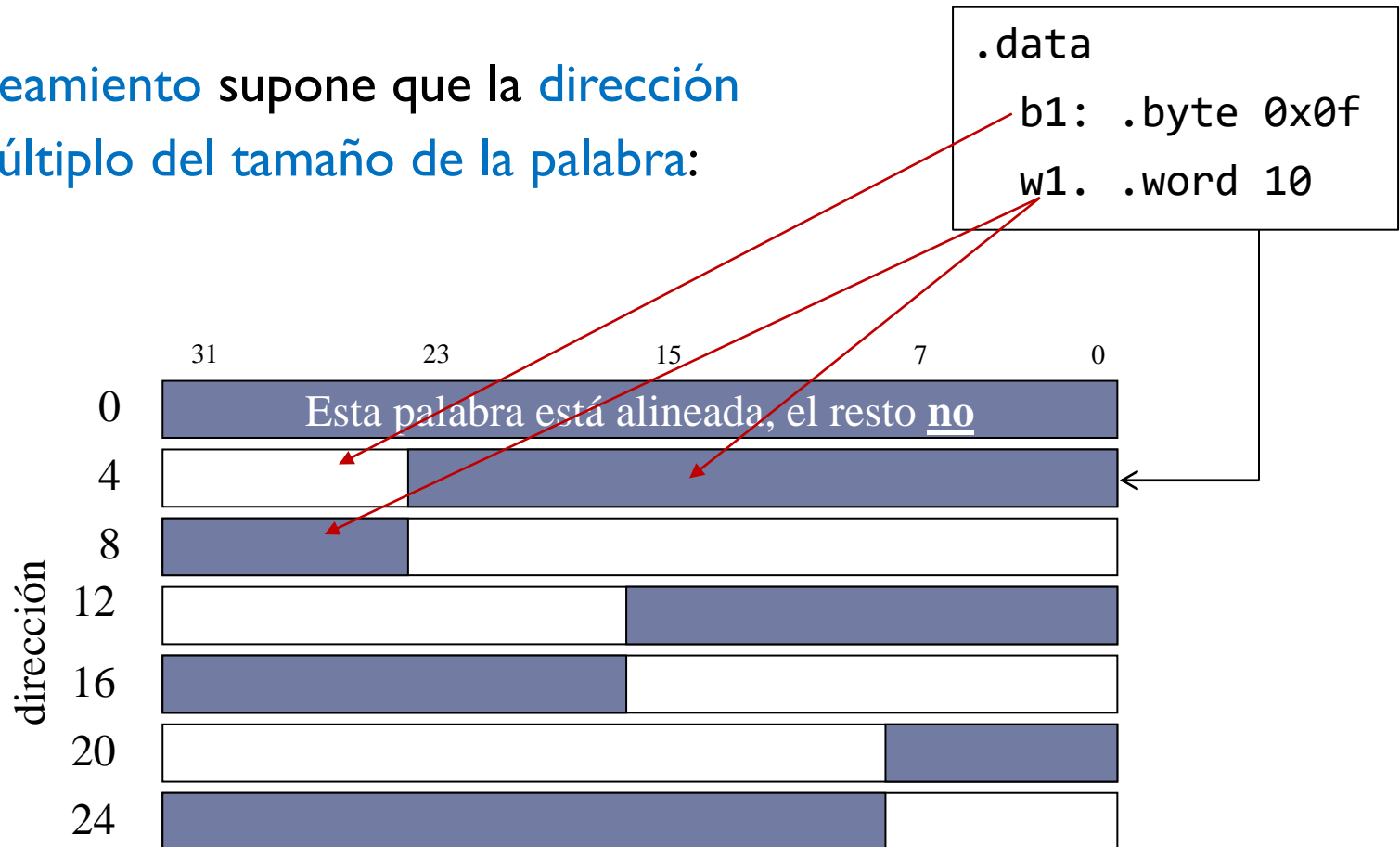
$$D \bmod K = 0$$

- ▶ **La alineación supone que:**

- ▶ Los datos que ocupan 2 bytes se encuentran en direcciones pares
- ▶ Los datos que ocupan 4 bytes se encuentran en direcciones múltiplo de 4
- ▶ Los datos que ocupan 8 bytes (double) se encuentran en direcciones múltiplo de 8

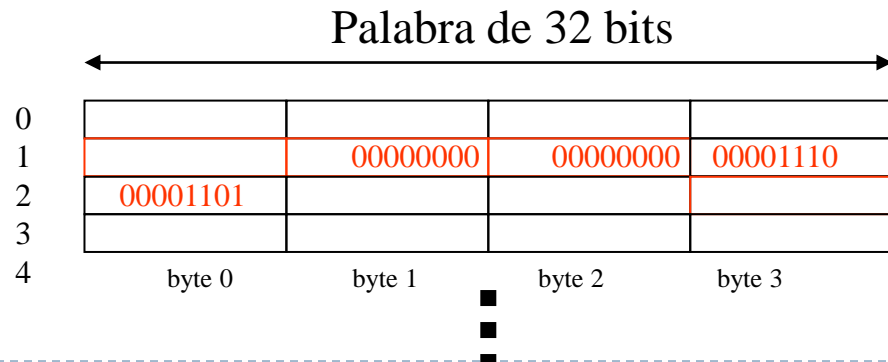
Alineamiento: ejemplo

- El **alineamiento** supone que la **dirección** sea **múltiplo del tamaño de la palabra**:

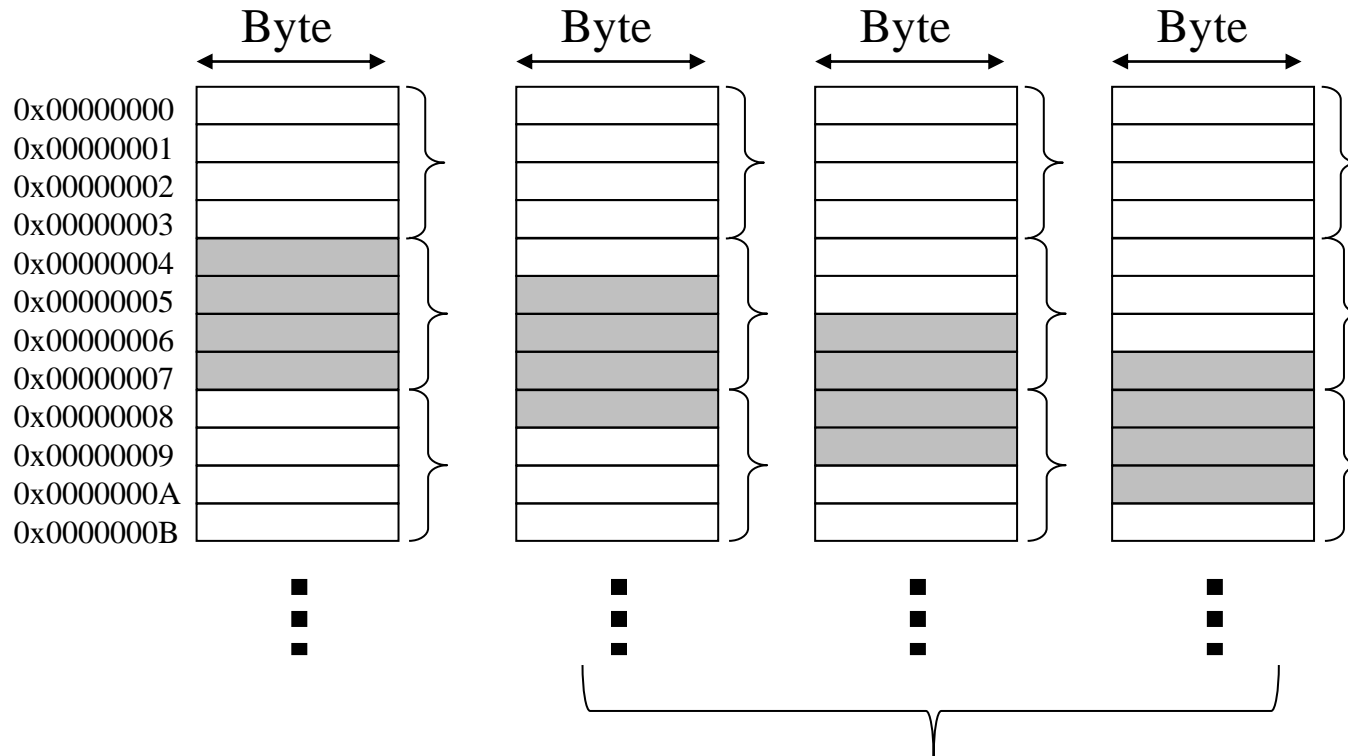


Alineación de datos

- ▶ En general los computadores no permiten el acceso a datos no alineados
 - ▶ Objetivo: minimizar el número de accesos a memoria
 - ▶ El compilador se encarga de asignar a los datos las direcciones adecuadas
- ▶ Algunas arquitecturas como Intel permiten el acceso a datos no alineados
 - ▶ El acceso a un dato no alineado implica varios accesos a memoria



Datos no alineados



Palabra alineada

Palabras no alineadas

Tiene que almacenarse a partir
de una dirección múltiplo de 4

Tipos de datos en ensamblador

- ▶ Booleanos
- ▶ Caracteres
- ▶ Enteros
- ▶ Reales

- ▶ Vectores
- ▶ Cadenas de caracteres
- ▶ Matrices
- ▶ Otras estructuras

Tipos de datos booleanos

```
bool_t b1 = false;  
bool_t b2 = true;  
...
```

```
main ()  
{  
    b1 = true ;  
    ...  
}
```

.data

```
b1: .byte 0      # 1 byte  
b2: .byte 1  
...
```

.text

```
main:  la t0, b1  
        li t1, 1  
        sb t1, 0(t0)  
        ...
```

Tipos de datos caracteres

```
char c1 ;  
char c2 = 'a' ;
```

```
...
```

```
main ()
```

```
{
```

```
    c1 = c2;
```

```
    ...
```

```
}
```

```
.data
```

```
c1: .zero 1 # 1 byte
```

```
c2: .byte 'a'
```

```
...
```

```
.text
```

```
main: la t0 c1
```

```
      la t1 c2
```

```
      lbu t2 0(t1)
```

```
      sb t2 0(t0)
```

```
...
```

Tipos de datos enteros

```
int  resultado ;
int  op1 = 100 ;
int  op2 = -10 ;
...
```

```
main ()
{
    resultado = op1+op2;
    ...
}
```

```
.data
.align 2
resultado:  .zero 4  # 4 bytes
op1:        .word 100
op2:        .word -10
...
```

```
.text

main:
    la t0 op1
    lw t1 0(t0)
    la t0 op2
    lw t2 0(t0)
    add t3 t1 t2
    la t0 resultado
    sw t0 0(t4)
    ...
```


Tipos de datos enteros

variable global sin valor inicial

```
int  resultado ;  
int  op1 = 100 ;  
int  op2 = -10 ;  
...
```

variable global con valor inicial

```
main ()  
{  
    resultado = op1+op2;  
    ...  
}
```

```
.data  
.align 2  
resultado:  .zero 4 # 4 bytes  
op1:        .word 100  
op2:        .word -10  
...
```

.text

```
main:  
    la t0 op1  
    lw t1 0(t0)  
    la t0 op2  
    lw t2 0(t0)  
    add t3 t1 t2  
    la t0 resultado  
    sw t0 0(t4)  
    ...
```

Ejercicio

- Indique un fragmento de código en ensamblador con la misma funcionalidad que:

```
int  b;
int  a = 100 ;
int  c = 5  ;
int  d;
main ()
{
    d = 80;
    b = -(a+b*c+a) ;
}
```

Asumiendo que a, b, c y d son variables que residen en memoria

Tipo de datos básicos

float

```
float  resultado ;
float  op1 = 100 ;
float  op2 = 2.5
...
```

```
main ()
{
    resultado = op1 + op2 ;
    ...
}
```

```
.data
```

```
.align 2
```

```
    resultado:  .zero 4 # 4 bytes
    op1:        .float 100
    op2:        .float 2.5
```

```
...
```

```
.text
```

```
main: flw      ft0 op1(x0)
      flw      ft1 op2(x0)
      fadd.s   ft3 ft1 ft2
      fsw      ft3 resultado(x0)
      ...
```

Tipo de datos básicos

double

```
double resultado ;
double op1 = 100 ;
double op2 = -10.27 ;
...
```

```
main ()
{
    resultado = op1 * op2 ;
    ...
}
```

.data

.align 3

```
resultado:  .zero 8
op1:        .double 100
op2:        .double -10.27
```

...

.text

```
main: fld      ft0 op1(x0)
      fld      ft1 op2(x0)
      fadd.d   ft3 ft1 ft2
      fsd      ft3 resultado(x0)
      ...
```

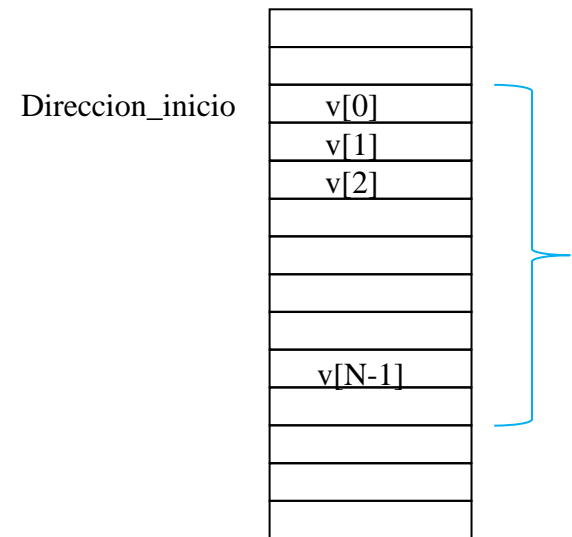
Tipo de datos básicos

vectores

- ▶ Conjunto de elementos ordenados consecutivamente en memoria
- ▶ La dirección del elemento j se obtiene como:

$$\text{Direccion_inicio} + j * p$$

Siendo p el tamaño de cada elemento



Tipo de datos básicos

vectores

```
int vec[5] ;
```

```
...
```

```
main ()
```

```
{
```

```
    vec[4] = 8;
```

```
}
```

```
.data
```

```
    .align 2    #siguiente dato alineado a 4
```

```
vec: .zero 20   #5 elem.*4 bytes
```

```
.text
```

```
main:
```

```
    la t1, vec
```

```
    li t2, 8
```

```
    sw t2, 16(t1)
```

```
    ...
```

Tipo de datos básicos

vectores

```
int vec[5] ;
```

```
...
```

```
main ()
```

```
{
```

```
    vec[4] = 8;
```

```
}
```

```
.data
```

```
.align    2 #siguiente dato alineado a 4  
vec: .zero 20  #5 elem.*4 bytes
```

```
.text
```

```
main:
```

```
    li    t0, 16  
    la    t1, vec  
    add   t3, t1, t0  
    li    t2, 8  
    sw    t2, 0(t3)
```

```
...
```

Tipo de datos básicos

vectores

```
int vec[5] ;
```

```
...
```

```
main ()
```

```
{
```

```
    vec[4] = 8;
```

```
}
```

```
.data
```

```
.align 2 #siguiente dato alineado a 4
```

```
vec: .zero 20 #5 elem.*4 bytes
```

```
.text
```

```
main:
```

```
    li t2 8
```

```
    li t1 16
```

```
    sw t2 vec(t1)
```

```
    ...
```


Ejercicio

- ▶ Si V es un array de números enteros (int)
 - ▶ V representa la dirección de inicio de vector
- ▶ ¿En qué dirección se encuentra el elemento $V[5]$?
- ▶ ¿Qué instrucción permite cargar en el registro $t0$ el valor $v[5]$?

Ejercicio (Solución)

- ▶ Si V es un array de números enteros (int)
 - ▶ V representa la dirección de inicio de vector
- ▶ ¿En qué dirección se encuentra el elemento $V[5]$?
 - ▶ $V + 5*4$
- ▶ ¿Qué instrucción permite cargar en el registro $t0$ el valor $v[5]$?
 - ▶ `li t1, 20`
 - ▶ `lw t0, v(t1)`

Tipo de datos básicos

cadenas de caracteres

```
char c1 ;  
char c2='h' ;  
char *ac1 = "hola" ;  
...
```

```
main ()  
{  
    printf("%s",ac1) ;  
    ...  
}
```

.data

```
c1:    .zero    1    # 1 byte  
c2:    .byte    'h'  
ac1:   .string  "hola"  
...
```

.text

```
main:  
        li a7 4  
        la a0 ac1  
        ecall  
        ...
```

Ejercicio

```
// variables globales
```

```
char v1;
```

```
int v2 ;
```

```
float v3 = 3.14 ;
```

```
char v4 = "ec" ;
```

```
int v5[] = { 20, 22 } ;
```

Ejercicio (solución)

```
// variables globales
```

```
char v1;
```

```
int v2 ;
```

```
float v3 = 3.14 ;
```

```
char v4 = "ec" ;
```

```
int v5[] = { 20, 22 } ;
```

```
.data
```

```
v1: .byte 0
```

```
.align 2
```

```
v2: .zero 4
```

```
v3: .float 3.14
```

```
v4: .string "ec"
```

```
.align 2
```

```
v5: .word 20, 22
```

Ejercicio (solución)

v1:	0	0x0100
	?	0x0101
	?	0x0102
	?	0x0103
	?	
	?	
	?	
	?	
	?	
	?	
	?	
	?	
	?	
	?	
	?	
	?	
	?	
	...	

.data

v1: .byte 0

.align 2

v2: .zero 4

v3: .float 3.14

v4: .string "ec"

.align 2

v5: .word 20, 22

Ejercicio (solución)

v1:	0	0x0100
	?	0x0101
	?	0x0102
	?	0x0103
v2:	0	0x0104
	0	0x0105
	0	0x0106
	0	0x0107
v3:	(3.14)	0x0108
	(3.14)	0x0109
	(3.14)	0x010A
	(3.14)	0x010B
v4:	'e'	0x010C
	'c'	0x010D
	0	0x010E
		0x010F
v5:	(20)	0x0110
	(20)	0x0111
	(20)	0x0112
	(20)	

```
.data

v1: .byte 0
    .align 2
v2: .zero 4
v3: .float 3.14

v4: .string "ec"

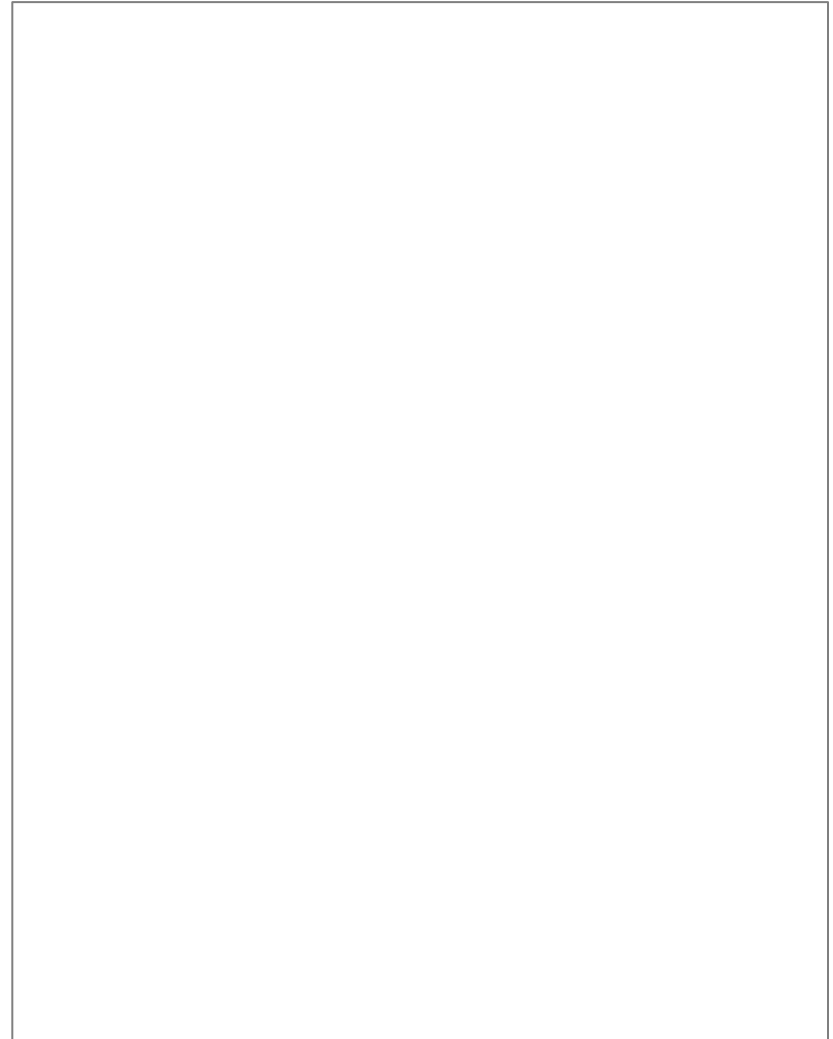
    .align 2
v5: .word 20, 22
```

Tipo de datos básicos

Longitud de una cadena de caracteres

```
char  c1 ;
char  c2  = 'h' ;
char *ac1 = "hola" ;
char *c;
...

main ()
{
    c = ac1; int l = 0;
    while (c[l] != NULL) {
        l++;
    }
    printf("%d", l);
    ...
}
```



Tipo de datos básicos

Longitud de una cadena de caracteres

```
char  c1 ;
char  c2  = 'h' ;
char *ac1 = "hola" ;
char *c;
```

...

```
main ()
```

```
{
    c = ac1; int l = 0;
    while (c[l] != NULL) {
        l++;
    }
    printf("%d", l);
    ...
}
```

```
.data
```

```
c1: .zero 1 # 1 byte
```

```
c2: .byte 'h'
```

```
ac1: .string "hola"
```

```
.align 2
```

```
c: .space 4 # puntero => dirección
```

...

```
.text
```

```
main:    la    t0, ac1
```

```
        li    a0, 0
```

```
        lbu   t1, 0(t0)
```

```
    bucl: beq  x0, t1, fin1
```

```
        addi  t0, t0, 1
```

```
        addi  a0, a0, 1
```

```
        lbu   t1, 0(t0)
```

```
        j     bucl
```

```
    fin1: li  a7 1
```

```
        ecall
```

...

Vectores y cadenas

► En general:

- `lw t0, 4(s3) # t0 ← M[s3+4]`
- `sw t0, 4(s3) # M[s3+4] ← t0`

Ejercicio

- ▶ Escriba un programa que:
 - ▶ Indique el número de veces que aparece un carácter en una cadena de caracteres
 - ▶ La dirección de la cadena se encuentra en a0
 - ▶ El carácter a buscar se encuentra en a1
 - ▶ El resultado se dejará en v0

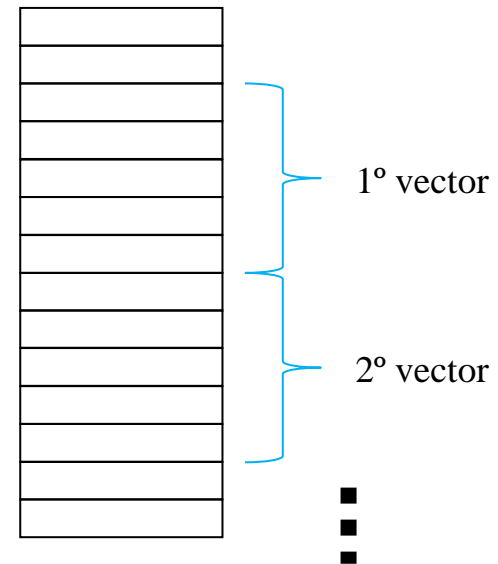
Tipos de datos básicos

matrices

- ▶ Una matriz $m \times n$ se compone de m vectores de longitud n
- ▶ Normalmente se almacenan en memoria por filas
- ▶ El elemento a_{ij} se encuentra en la dirección:

$$\text{direccion_inicio} + (i \cdot n + j) \times p$$

siendo p el tamaño de cada elemento



Tipo de datos básicos

matrices

```
int vec[5] ;
int mat[2][3] = {{11,12,13},
                 {21,22,23}};
...
```

```
main ()
{
    m[0][1] = m[0][0] +
             m[1][0] ;
    ...
}
```

```
.data
.align 2 #siguiente dato alineado a 4
vec: .zero 20 #5 elem.*4 bytes
mat: .word 11, 12, 13
     .word 21, 22, 23
     ...
```

```
.text
main:
    li    t0    0
    lw    t1    mat(t0)
    li    t0    12
    lw    t2    mat(t0)
    add   t3    t1 t2
    li    t0    4
    sw    t3    mat(t0)
    ...
```

Consejos

- ▶ No programar directamente en ensamblador
 - ▶ Mejor **primero hacer diseño** en DFD, Java/C/Pascal...
 - ▶ Ir traduciendo poco a poco el diseño a ensamblador
- ▶ **Comentar** suficientemente el código y datos
 - ▶ Por línea o por grupo de líneas comentar qué parte del diseño implementa.
- ▶ **Probar** con suficientes casos de prueba
 - ▶ Probar que el programa final funciona adecuadamente a las especificaciones dadas

Ejercicio

- ▶ Escriba un programa que:
 - ▶ Cargue el valor -3.141516 en el registro f0
 - ▶ Permita obtener el valor del exponente y de la mantisa almacenada en el registro f0 (en formato IEEE 754)
 - ▶ Imprima el signo
 - ▶ Imprima el exponente
 - ▶ Imprima la mantisa

Ejercicio (Solución)

```
.data
    saltolinea: .string  "\n"
    valor:      .float  -3.141516

.text
main:
    flw    ft0, valor(x0)

    #se imprime
    fmv.s  fa0, ft0
    li     a7, 2
    ecall

    la     a0, saltolinea
    li     a7, 4
    ecall

    # se copia al procesador
    fmv.x.w t0, ft0
```

```
li     s0, 0x80000000    #signo
and     a0, t0, s0
srl     a0, a0, 31
li     a7, 1
ecall

la     a0, saltolinea
li     a7, 4
ecall

li     s0, 0x7F800000    #exponente
and     a0, t0, s0
srl     a0, a0, 23
li     a7, 1
ecall

la     a0, saltolinea
li     a7, 4
ecall

li     s0, 0x007FFFFF    #mantisa
and     a0, t0, s0
li     a7, 1
ecall

jr     ra
```