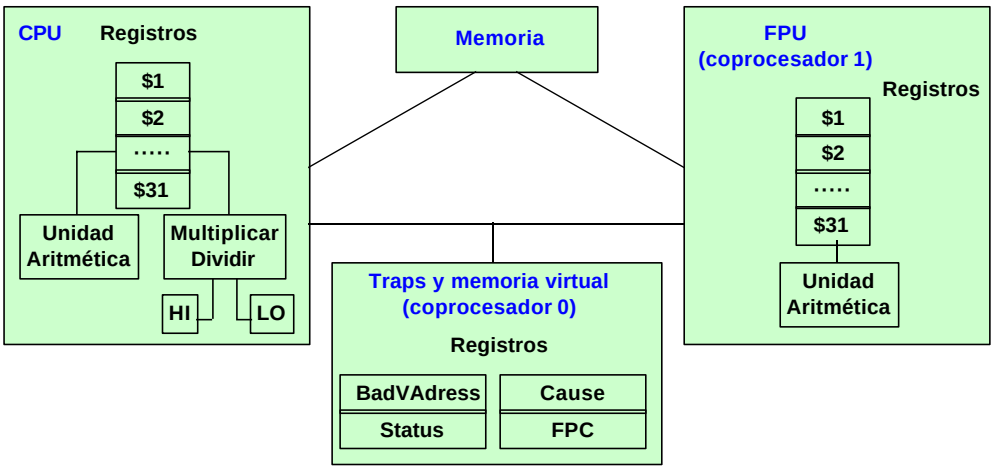
UNIVERSIDAD DE EXTREMADURA

Estructura de Computadores

Tutorial del lenguaje ensamblador del MIPS

- La arquitectura MIPS es un ejemplo simple y claro de una máquina **RISC** de **32 bits**.
  - » Procesador MIPS = CPU + coprocesadores auxiliares
  - » Coprocesador 0 = excepciones, interrupciones y sistema de memoria virtual
  - » Coprocesador 1 = FPU (Unidad de Punto Flotante)



- **Lenguaje ensamblador** es la representación simbólica de la codificación binaria del computador (**lenguaje máquina**).
- Los lenguaje máquina son bastante similares.
- Una herramienta llamada **ensamblador** (assembler) traduce el lenguaje ensamblador a instrucciones binarias.
- Un ensamblador lee un único **archivo fuente** en lenguaje ensamblador, y produce un **archivo objeto** que contiene instrucciones máquina e información de mantenimiento que ayuda a combinar varios archivos objeto en un programa.
- Un módulo puede tener referencias a subrutinas y datos definidos en otros módulos y bibliotecas. El código de un módulo no puede ejecutarse cuando contiene referencias sin resolver a rótulos de otros archivos objeto o bibliotecas. Otra herramienta llamada enlazador (linker) combina archivos objeto y de biblioteca en un archivo ejecutable.
- El lenguaje ensamblador juega dos papeles:
  - Es el lenguaje de salida de los compiladores. Un compilador traduce un programa escrito en lenguaje de alto nivel (lenguaje fuente, C) en un programa equivalente en lenguaje máquina o ensamblador (lenguaje objeto).
  - Es un lenguaje más con el que escribir programas en los que la velocidad o tamaño son críticos, o para explotar las características hardware que no tienen análogos en lenguajes de alto nivel.

- Cada línea puede contener, como máximo, una **sentencia**.
- Los **comentarios** van al final de la sentencia, precedidos por **#**. El ensamblador los ignora.
- Los nombres seguidos por **:** son **rótulos** (etiquetas). Nombran la siguiente posición de memoria, y van al principio de la línea

sentencia

Rótulo	Código instrucción, pseudo instr. ó directiva	Operandos	Comentarios

- Los operandos pueden ser:
  - Un registro: **$4** o **$a0**, que puede ir entre paréntesis.
  - Un identificador: Caracteres alfanuméricos, _ y **.** , sin comenzar con un número.
  - Una cadena alfanumérica encerrada entre dobles comillas (**"**), donde puede haber
  - caracteres especiales según convenio C (nueva línea=**\n**, tabulador=**\t**, comillas=**\"...**).
  - Un valor numérico, en base 10. Si van precedidos de **0x** indican valores hexadecimal
- Ejemplo:

```
        .data
item:   .word 1
        .text
        .globl main    # Debe ser global
main:   lw $t0, item
```

Un programa puede estar escrito en códigos distintos:

- **M.C** **Código en lenguaje de alto nivel** (fuente).
- **M.S** **Código ensamblador**. Puede jugar dos papeles, dependiendo del tipo de compilador:
  - » Es el lenguaje de salida de los compiladores (código ensamblador sin rótulos).
  - » Lenguaje con el que escribir programas (código ensamblador con rótulos). Es aún importante para escribir programas en los que la velocidad o tamaño son críticos, o para explotar características hardware que no tienen análogos en lenguajes de alto nivel.
- **M.OBJ** **Código máquina** (objeto). Contiene instrucciones máquina (binarias) e información de mantenimiento que ayuda a combinar varios archivos objeto en un programa.
- **M.EXE** **Código ejecutable**.

compilador

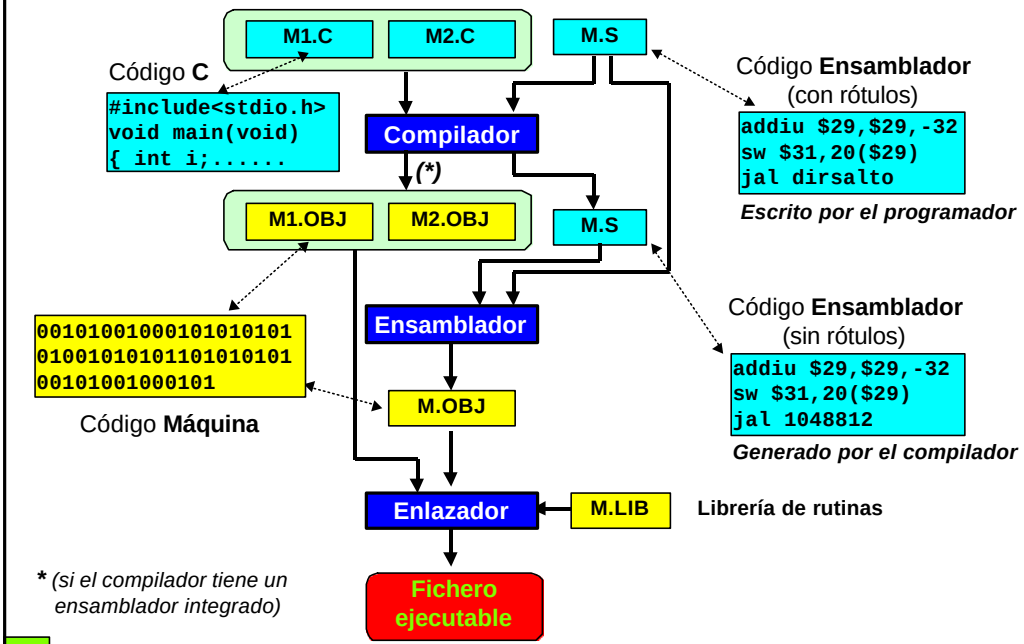
- Traduce un código en **lenguaje de alto nivel** en uno equivalente en **lenguaje ensamblador** (puede también producir lenguaje máquina directamente con la ayuda de un ensamblador integrado).
- Crean saltos y rótulos cuando no aparecen en el lenguaje de programación

ensamblador

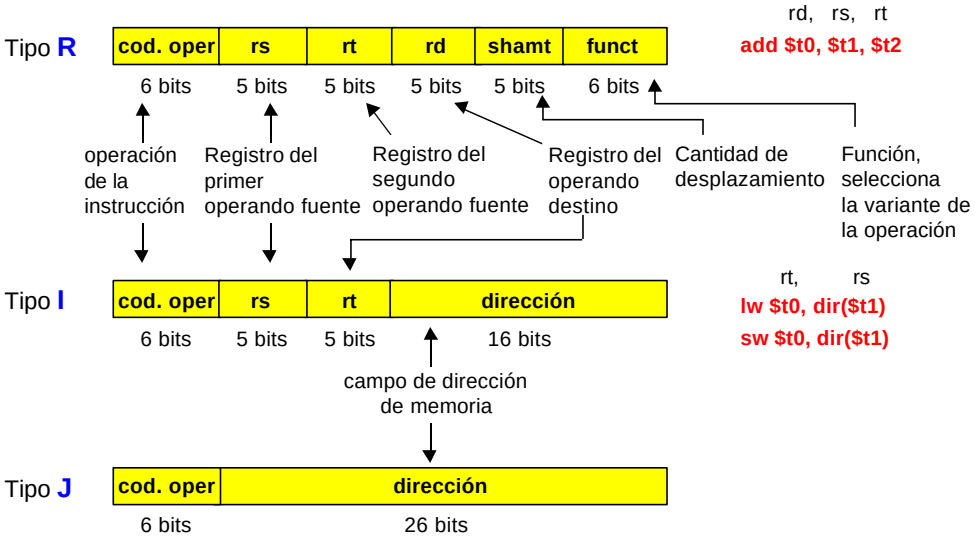
- Programa que traduce de **lenguaje ensamblador** a **lenguaje máquina**.
- Lee un único archivo fuente en ensamblador y produce un archivo objeto
- Un módulo puede contener referencias a subrutinas y datos definidos en otros módulos y bibliotecas. El código de un módulo no puede ejecutarse si contiene referencias sin resolver a rótulos de otros archivos objeto o bibliotecas.

enlazador

- Combina una colección de archivos objeto y de biblioteca en un archivo ejecutable, que el computador ejecuta



- Toda **instrucción** MIPS necesita **32 bits** (igual que una **palabra de datos** y un **registro**)



- El ensamblador **incrementa el nº de instrucciones disponibles** a los programadores en lenguaje ensamblador y a los compiladores, mediante las **pseudoinstrucciones**.
- Son instrucciones del lenguaje ensamblador que **no necesitan ser implementadas en hardware**.
- El ensamblador MIPS maneja pseudoinstrucciones **reservando $1** para su uso como registro temporal

Ejemplo 1

move $8, $18 → **compilador** → **add $8, $0, $18**

instrucción **lenguaje ensamblador** (**pseudoinstrucción**, *ensamblador con rótulos*)

instrucción **lenguaje máquina** *(ensamblador sin rótulos)*

Ejemplo 2

- **blt** = pseudoinstrucción "saltar sobre < que"
- Implementar blt en hardware lo complicaría, pues aumentaría la duración del ciclo de reloj, o bien esta instrucción tendría ciclos de reloj extra por instrucción (por simplicidad, queremos que las instrucciones se ejecuten en un nº de ciclos de reloj iguales). Dos instrucciones más rápidas serían más útiles

```
slt $at,$s0,$s1      #$at=1 si $s0<$s1 (a<b)
bne $at,$zero,Less   #ir a Less si $at!$zero
                     #(o sea, si a<b)
```

instrucciones máquina

⇔ **pseudoinstrucción**

```
blt $16,$17,Less     #ir a Less si (a<b)
```

Ensamblador MIPS — Directivas

Los nombres que comienzan con un punto (**.data**, **.globl**, ..) son directivas del ensamblador: indican al ensamblador cómo traducir un programa, pero no producen instrucciones máquina

Directiva	Descripción
.align n	Alinea el siguiente dato sobre un límite de 2^n byte (.align 2, .align 0.,..)
.ascii str	Almacena la cadena str en memoria, pero no la termina con el caracter nulo.
.asciiz str	Almacena la cadena str en memoria, y la termina con el caracter nulo.
.byte/half/word b1, ..., bn	Almacena los n valores de 8/16/32 bits en bytes/medias palabras/palabras consecutivas de memoria.
.double/float f1,....,fn	Almacena los n números de punto flotante de doble/simple precisión en posiciones consecutivas de memoria.
.data	Los elementos siguientes son almacenados en el segmento de datos.
.kdata	Los elementos siguientes son almacenados en el segmento de datos del núcleo.
.text	Los elementos siguientes son almacenados en el segmento de texto. Estos elementos sólo pueden ser instrucciones o palabras.
.ktext	Los elementos siguientes son almacenados en el segmento de texto del núcleo. Estos elementos sólo pueden ser instrucciones o palabras.
.space n	Asigna n bytes de espacio en el segmento actual (debe ser seg. datos en SPIM)
.extern sym size	Declara que el dato almacenado en *sym* ocupa *size* bytes y es un global. El ensamblador lo pone en parte del segmento de datos fácilmente accesible via $gp
.globl sym	Declara *sym* como global: se puede referenciar desde otros archivos.

Ensamblador MIPS — Registros

- Hay **32** registros ($0, $1, ..., $31) de **32 bits** (palabra).
- Cuando un programa tiene más variables que registros, el compilador almacena las variables más utilizadas en los registros, y las restantes en memoria: **derramar registros** (**spilling**).

Nombre	*Número*	*Uso*
zero	**0**	Constante 0 (valor cableado)
at	**1**	Reservado para el ensamblador
v0, v1	**2, 3**	Evaluación de expresión y resultado de una función
a0, ..., a3	**4, ..., 7**	Argumentos a rutina (resto de argumentos, a pila)
t0, ..., t7	**8, ..., 15**	Temporales (no preservados a través de llamada, guardar invocador)
s0, ..., s7	**16, ..., 23**	Guardado temporalmente (preservado a través de llamada, guardar invocado)
t8, t9	**24, 25**	Temporales (no preservados a través de llamada, guardar invocador)
k0, k1	**26, 27**	Reservados para el núcleo del S.O.
gp	**28**	Puntero global, apunta a la mitad de un bloque de 64K en seg. datos estáticos
sp	**29**	Puntero de pila, apunta la primera posición libre en la pila
fp	**30**	Puntero de encuadre
ra	**31**	Dirección de retorno (usada por llamada de procedimiento)

Modos de direccionamiento

- MIPS es una arquitectura de carga/almacenamiento
- Sólo las instrucciones de carga y almacenamiento acceden a memoria, según los cálculos efectuados sobre valores en los registros.
- Alineación: una cantidad está alineada si su dirección de memoria es un múltiplo de su tamaño en bytes
  Ejemplo: Una palabra de 32 bits debe almacenarse en direcciones múltiplo de 4.
- Casi todas las instrucciones de carga y almacenamiento operan sólo sobre datos alineados.
- Instrucciones para alinear datos no alineados: **lwl, lwr, swl y swr**.

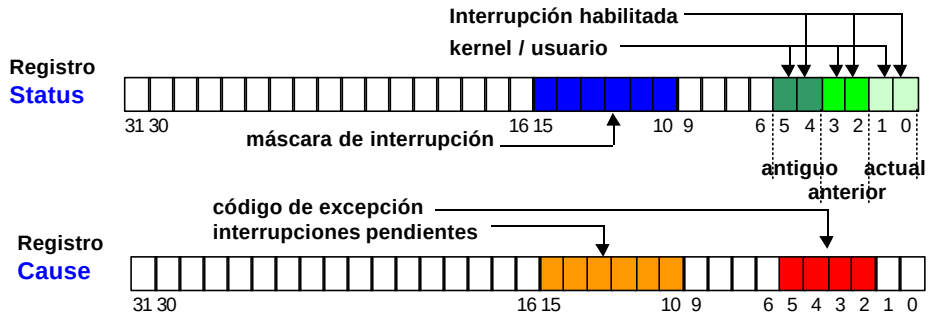
Modos de direccionamiento

Formato	*Cálculo de la dirección*	*Ejemplo*
(registro)	Contenido del registro (cr)	`lw $t0,($t2)`
valor	Valor inmediato (vin)	`lw $t0,0x10010008`
valor (registro)	vin + cr	`lw $t0,0x10010000($t1)`
identificador	dirección del identificador (did)	`lw $t0,array`
identificador +/- valor	did +/- vin	`lw $t0,array+8`
identificador (registro)	did + cr	`lw $t0,array($t1)`
identificador +/- valor (registro)	did +/- vi + cr	`lw $t0,array+4($t1)`

Registros del coprocesador 0

- Registros para tratar las **excepciones** e **interrupciones**.
- Son accedidos por las instrucciones **lwc0, mfc0, mtc0 y swc0**
- SPIM sólo implementa los siguientes :

Nombre	*Número*	*Uso*
BadVAdress	8	Dirección de memoria en donde ocurre la excepción
Status	12	Máscara de interrupción y bits de habilitación
Cause	13	Tipo de excepción y bits de interrupción pendiente
EPC	14	Dirección de la instrucción que causó la excepción



Instrucciones para manejar excepciones

rfe	Vuelta desde excepción	Restaura el registro Status
syscall	Llamada al sistema	El registro $v0 contiene el número de la llamada al sistema (ver la tabla de llamadas al sistema)
break	Produce excepción n	Provoca la excepción n. La exception 1 se reserva para el depurador (debugger)
nop	no operación	No hace nada

Códigos de excepciones

Número	*Nombre*	*Uso*
0	**INT**	Interrupción externa
4	**ADDRL**	Excepción error dirección (carga desde memoria o captura de instrucción)
5	**ADDRS**	Excepción error dirección (almacenamiento en memoria)
6	**IBUS**	Error de bus durante una captura de instrucción
7	**DBUS**	Error de bus durante una carga o almacenamiento
8	**SYSCALL**	Excepción llamada al sistema
9	**BKPT**	Excepción provocada por un punto de ruptura (breakpoint)
10	**RI**	Excepción de instrucción reservada
12	**OVF**	Excepción provocada por overflow aritmético

- Conjunto de servicios parecidos al SO a través de la instrucción **syscall**.
- $v0: código de llamada al sistema
- $a0, $a1, o $f12: argumentos
- Resultados tras syscall: $v0 (o $f0)

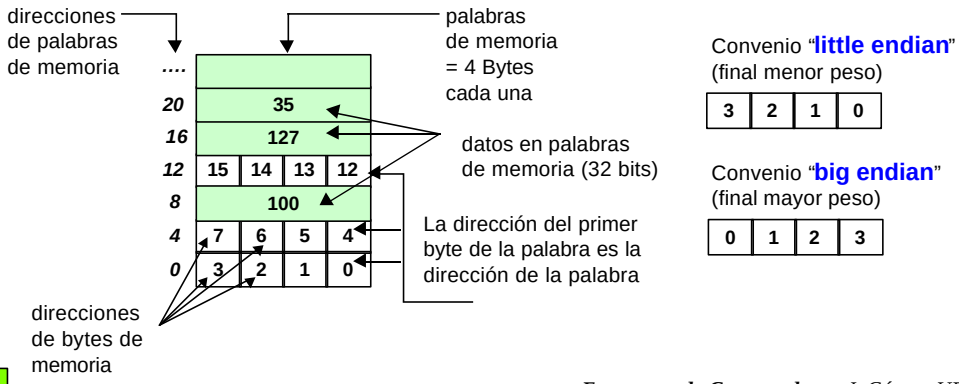
Valor que toma $v0 antes de llamar a syscall

Argumentos que hay que establecer antes de llamar a syscall, para que ésta los trabaje

Si syscall devuelve alguna cosa, lo pone en uno de estos registros

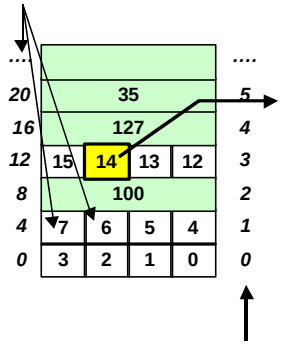
Servicio	*Código*	*Argumentos*	*Resultados*	*Propósito*
print_int	**1**	$a0 = entero		Imprimen en consola. Hay que pasar el argumento, e imprimir. No devuelven resultado
print_float	**2**	$f12 = float		
print_double	**3**	$f12 = double		
print_string	**4**	$a0 = cadena		
read_int	**5**		entero (en $v0)	Lee de la consola (un número o una cadena) No necesita argumentos (excepto cadena) Espera a que introduzcamos núm. o cadena Devuelve el valor leido a un registro
read_float	**6**		float (en $f0)	
read_double	**7**		float (en $f0)	
read_string	**8**	$a0 = buffer, $a1=longitud		
sbrk	**9**	$a0 = cantidad	dirección (en $v0)	Añade páginas de mem. vir. al seg. datos dinám.
exit	**10**			Termina la ejecución de un programa

- El ensamblador MIPS **direcciona bytes** individuales.
- Las **palabras** de memoria son de **32 bits** (4 Bytes).
- La memoria direccionable tiene un tamaño de 2^{30} palabras.
- Las instrucciones de carga y almacenamiento comunican datos entre memoria y registros. La instrucción debe suministrar una dirección de memoria.
- Las direcciones comienzan en 0.
- El compilador asigna estructuras de datos (como los **arrays**) a posiciones de memoria, colocando la dirección adecuada de comienzo en las instrucciones de carga o almacenam.



- Una dirección de memoria es la dirección de 1 byte de memoria
- Si esa dir. es la del primer byte de una palabra (00), es como si fuera la dir. de la palabra.
- MIPS considera este direccionamiento para la **memoria virtual**

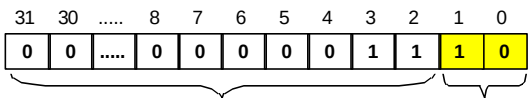
Estructura de bytes:
La memoria se direcciona como sucesión de bytes



Estructura de palabras:
La memoria se estructura como sucesión de palabras

Memoria = 2^{32} bytes / 4 bytes por plabra = 2^{30} palabras

1 palabra = 4 bytes = 2^2 bytes



Campo "Estructura de palabras":
Direcciona la posición de la palabra dentro de la estructura de palabras

Campo "Desplazamiento":
Direcciona la posición del byte dentro de la palabra

Mapa de memoria

- Los segmentos de pila y datos son expandibles dinámicamente.
- Están tan distantes como sea posible, y pueden crecer para utilizar el espacio completo de direcciones del programa.

Segmento de Pila.

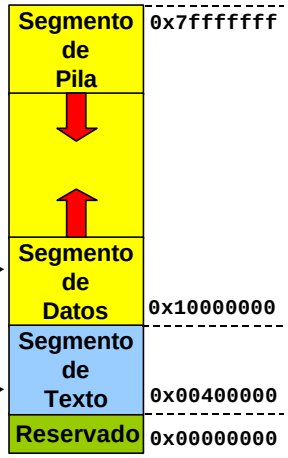
- Pila del programa.

Segmento de Datos:

- **Datos Estáticos**. Datos de tamaño conocido por el compilador, que no desaparecen durante la ejecución del programa. En C, las variables globales se asignan a este segmento.
- **Datos Dinámicos**. Son asignados por el programa al ejecutarse.

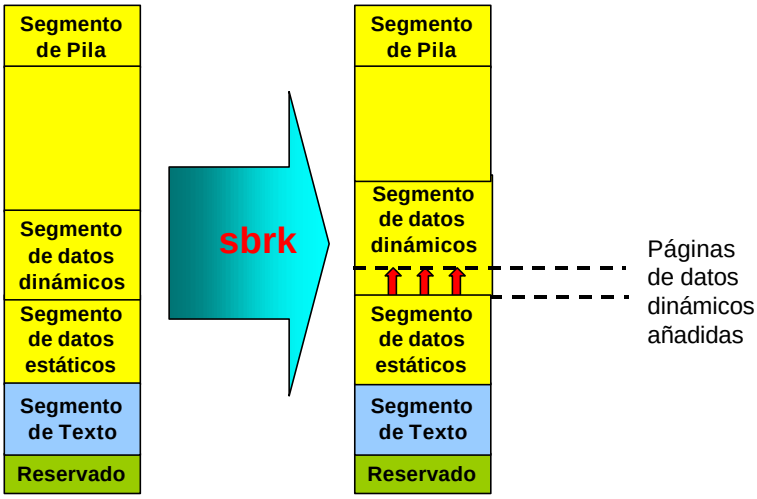
Segmento de Texto.

- Contiene las instrucciones del programa.



Expansión del segmento de datos dinámicos

En C, **malloc** encuentra y devuelve un nuevo bloque de memoria, expandiendo el área dinámica con la llamada del sistema **sbrk**, que hace que el S.O. añada más páginas al espacio de direcciones virtuales del programa, inmediatamente antes del segmento de datos dinámicos.



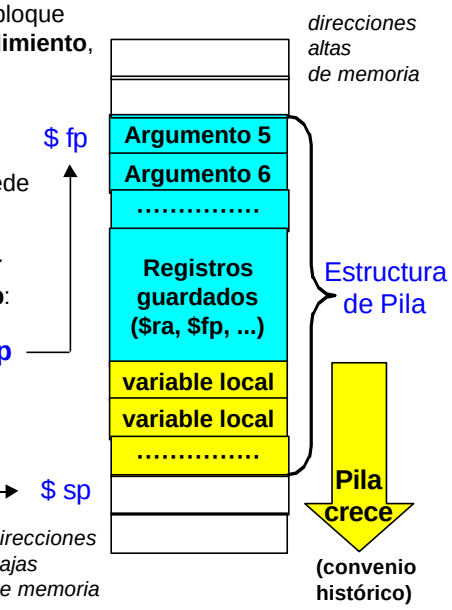
- El mantenimiento a una llamada se realiza con un bloque de memoria llamado **marco de llamada de procedimiento**, o **marco de pila**, que sigue un orden **FIFO**.
- Contiene valores pasados a un procedimiento como argumentos.
- Ahorra registros que el procedimiento invocado puede modificar, pero que el invocador no quiere cambiar.
- Da al procedimiento espacio para variables locales.
- Consta de la memoria entre dos punteros **$fp** y **$sp**:

Puntero de estructura, o de marco de pila, $fp

- Apunta a la 1ª palabra de la estructura de pila. Se utiliza para acceder a valores en la estructura de pila

Puntero de pila, $sp

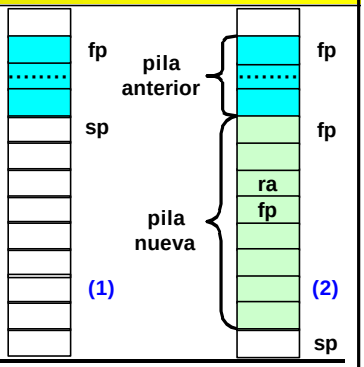
- Apunta a la 1ª palabra de la pila después de la estructura, o sea, a la 1ª palabra libre de la pila



Creación de una nueva pila

- Creamos una pila de 32 bytes.
- Guardamos **$ra** (si estamos en una subrutina y vamos a hacer una llamada a subrutina) y **$fp** (para identificar la anterior pila) en la nueva pila
- Si estamos en una subrutina, y los argumentos de llamada no caben en $a0...$a3, los ponemos en esta pila

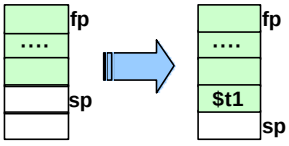
```
(1) antes
subu   $sp,$sp,32
sw     $ra,20($sp)
sw     $fp,16($sp)
addu   $fp,$sp,32
(2) después
```



Introducir dato en pila

- Almacenar dato en **0($sp)**
- Restar a **$sp** el tamaño (bytes) del dato

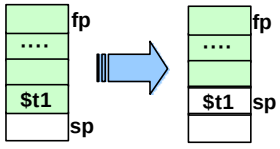
```
sw   $t1,0($sp)
subu $sp,$sp,4
```



Sacar dato de pila

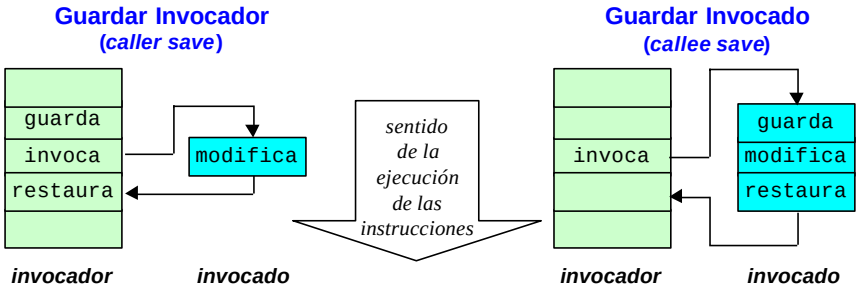
- Sumar a **$sp** el tamaño (bytes) del dato
- Leer dato de **0($sp)**

```
addu $sp,$sp,4
lw   $t1,0($sp)
```



Convenios de llamada a procedimiento (uso de registros)

- Gobierna el uso de registros cuando los procedimientos de un programa se compilan separadamente.
- Son convenios software, no hardware
- Un compilador debe conocer los registros que puede usar y los reservados a otras rutinas.
- Hay dos convenios estándares (se aplica uno u otro en una llamada a procedimiento):



» El invocador guarda y restaura los registros que se deban conservar a través de la llamada (específicamente **t0...t9**)

» El invocado puede modificar cualquier registro sin preocuparse.

» El invocado guarda y restaura los registros que pueda usar (específicamente **s0...s9**)

» El invocador usa los registros sin preocuparse de restaurarlos después de una llamada.

Metodología general de llamada a procedimiento

- **Antes de que el invocador llama al invocado**

» **Pasar argumentos (1)**. Invocador pone los **4** primeros argumentos en **$a0...$a3**, y el resto en la pila del invocador, cuyo marco **$fp** está en **(2)**

» **Guardar en pila los registros de "guardar-invocador" (3).** Si usamos "guardar invocador", se guardan en pila, aquellos de **$a0-$a3** y **$t0-$t9** que el invocador necesite inalterados después de la llamada, pues **$t0...$t9** los usa el invocado.

» **Ejecutar jal:** bifurca al invocado y guarda la dirección de vuelta en **$ra**.

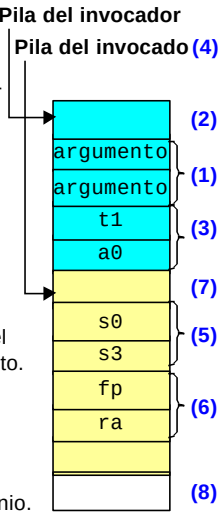
- **Al inicio de la ejecución del invocado**

» **Crear pila del invocado (4): $sp** = **$sp** - (tamaño en bytes). (mín, 32 B)

» **Guardar en pila los registros de "guardar-invocado" (5)**. Si usamos "guardar invocado", se guardan en pila aquellos de **$s0-$s7** que el invocador necesite inalterados a la vuelta, pues **$s0-$s7** los usa el invocado.

» **Guardar $fp y $ra (6)**. **$fp** se guarda para poder, a la vuelta, identificar la pila del invocador, y **$ra** se guarda si el invocado hace una nueva llamada a procedimiento.

» **Actualizar el puntero de marco**. Hacer que **$fp** apunte al nuevo marco del invocado: **$fp (7)** = tamaño de pila del invocado + **$sp (8)**.



- **Al final del invocado**

» Si el invocado devuelve un valor, se coloca éste en **$v0**.

» Restaurar los registros de "guardar-invocado" **(5)**, si estamos usando este convenio.

» Restaurar **$fp** y **$ra** del invocador **(6)**. Ahora $fp está en **(2)**

» Destruir pila del invocado: **$sp** = **$sp** + tamaño de pila. Ahora **$sp** está en **(7)**

» Retornar saltando (instrucción **j**) a la dirección contenida en el registro **$ra**.

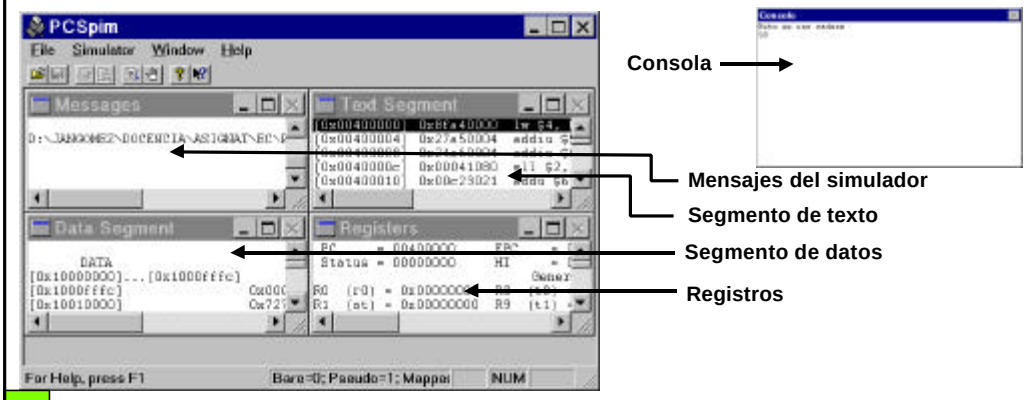
- **Al volver al invocador**

» Restaurar los registros de "guardar invocador" **(3)** que se guardaron antes de llamar al invocado.

Ensamblador MIPS — Simulador SPIM

- SPIM es un simulador que ejecuta programas ensamblador del MIPS R2000
- Contiene un depurador y proporciona algunos servicios como el sistema operativo
- SPIM es un **simulador virtual**

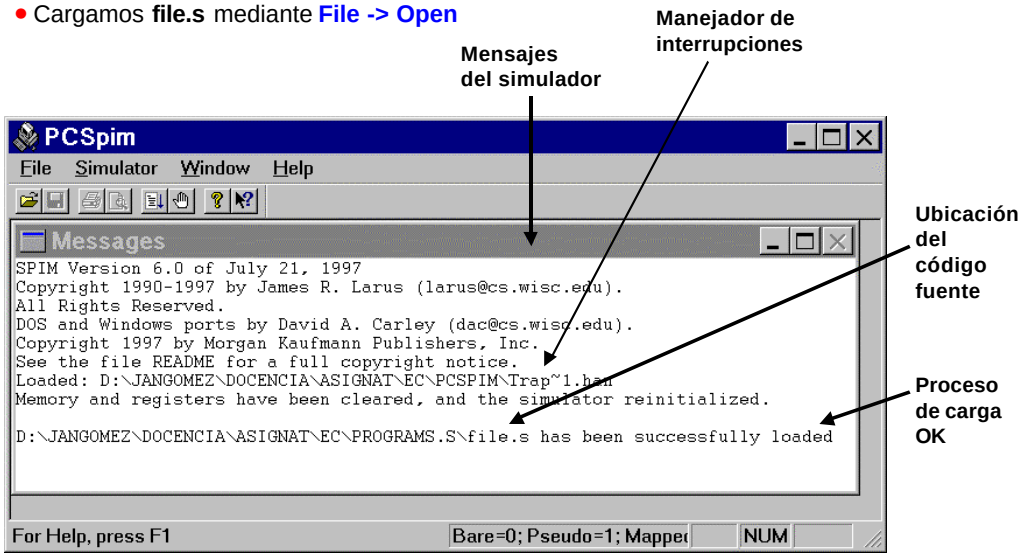
  Para hacer frente a la difícil programación de la arquitectura MIPS, SPIM hace:
  - » Oculta instrucciones (saltos y cargas) retardadas (segmentación), reorganizando las instrucciones para ajustar los huecos del retardo.
  - » Amplia el conjunto de instrucciones del hardware real mediante pseudoinstrucciones, simulando éstas mediante cortas secuencias de instrucciones reales.

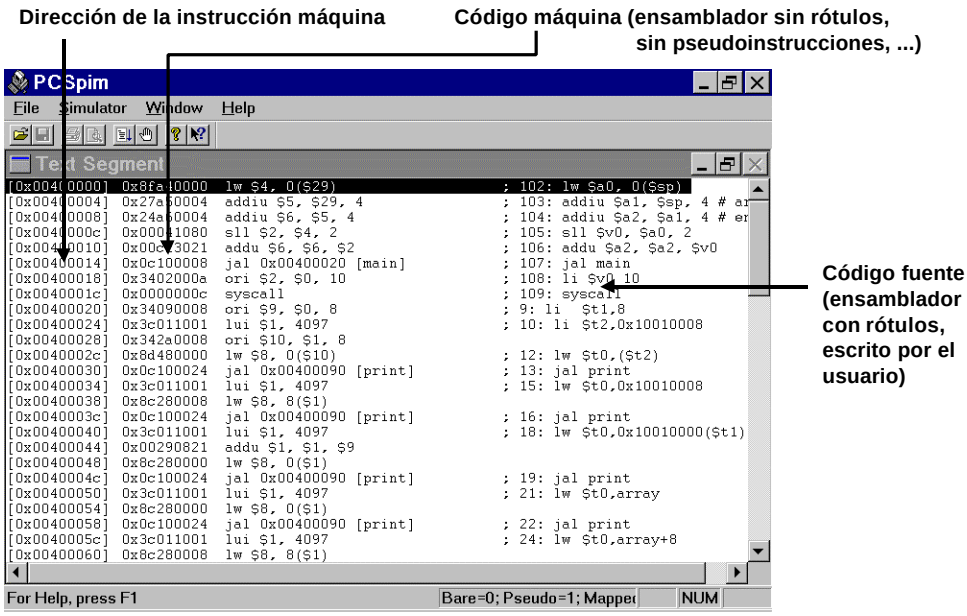


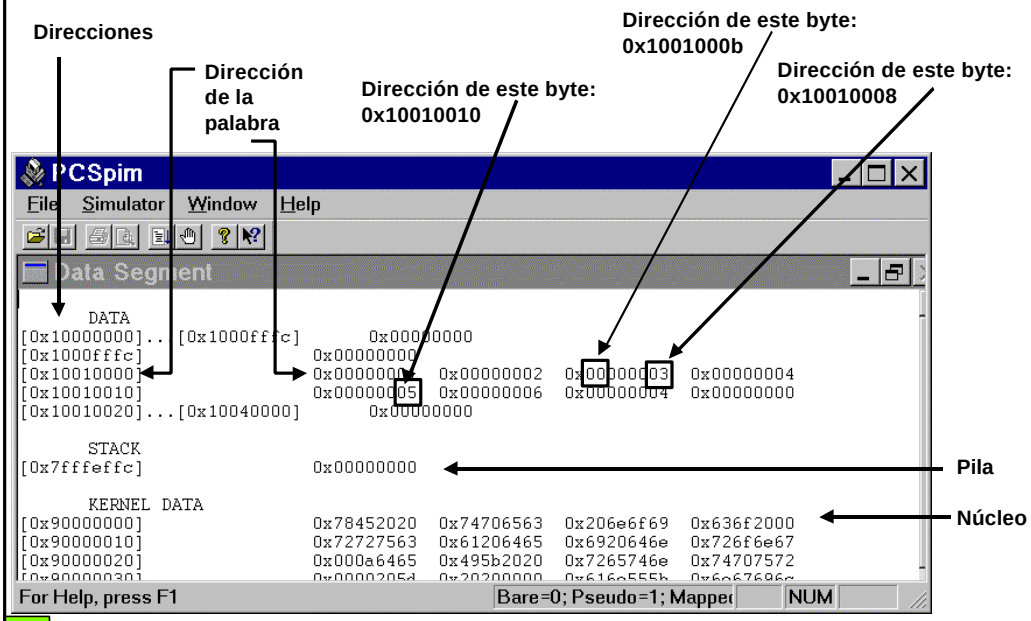
Ensamblador MIPS — Opciones de SPIM

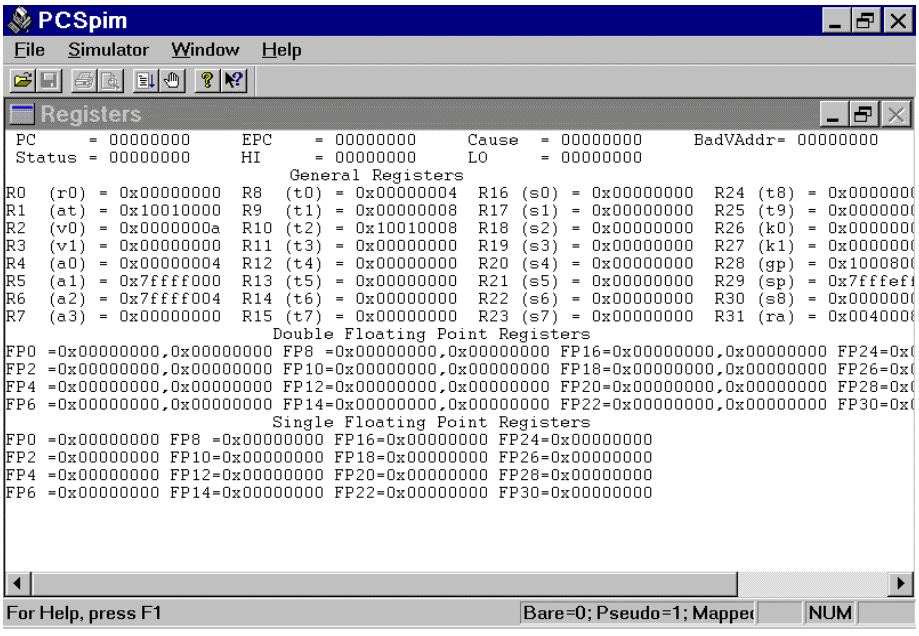
Bare machine *(máquina reducida)*	**On**	Simula un MIPS reducido en instrucciones, sin pseudo-instrucciones ni otros modos de direccionamiento proporcionados por el ensamblador.
	Off	SPIM simula la máquina virtual
Mapped I/O *(E/S con correspondencia directa a memoria)*	**On**	Habilita la E/S con correspondencia directa a memoria. Los programas que usen *syscall* para leer desde el terminal, no pueden usar E/S de correspondencia directa con memoria.
	Off	Deshabilita la E/S con correspondencia directa a memoria
Allow pseudo-instructions *(permite pseudo-inst.)*	**On**	Permite pseudoinstrucciones, y se ve cómo las traduce instrucc. máquina.
	Off	No permite pseudo-instrucciones, sólo instrucciones máquina.
Quiet	**On**	No imprime ningún mensaje en las excepciones
	Off	Imprime un mensaje cuando se presenta una excepción
Load trap file	**On**	Carga manipulador de excepciones y código de arranque (fichero **trap.han**). Durante una excepción, SPIM salta a 0x80000080, donde hay código para tratarla. **Trap.han** contiene el código de arranque que invoca la rutina main. Sin la rutina de arranque, SPIM comienza la ejecución en el rótulo **__start**

- Editamos el código ensamblador **file.s** en cualquier procesador de texto **ASCII**.
- Abrimos **PCSPIM**
- Cargamos **file.s** mediante **File -> Open**






Direcciones
Dirección de la palabra
Dirección de este byte: 0x10010010
Dirección de este byte: 0x1001000b
Dirección de este byte: 0x10010008
PCSpim
File Simulator Window Help
Data Segment
DATA
[0x10000000].. [0x1000fffc] 0x00000000
[0x1000fffc] 0x00000000
[0x10010000] 0x00000001 0x00000002 0x00000003 0x00000004
[0x10010010] 0x00000005 0x00000006 0x00000004 0x00000000
[0x10010020]...[0x10040000] 0x00000000
STACK
[0x7fffeffc] 0x00000000
Pila
KERNEL DATA
[0x90000000] 0x78452020 0x74706563 0x206e6f69 0x636f2000
[0x90000010] 0x72727563 0x61206465 0x6920646e 0x726f6e67
[0x90000020] 0x000a6465 0x495b2020 0x7265746e 0x74707572
Núcleo
For Help, press F1
Bare=0; Pseudo=1; Mappe
NUM


PCSpim
File Simulator Window Help
Registers
PC = 00000000 EPC = 00000000 Cause = 00000000 BadVAddr= 00000000
Status = 00000000 HI = 00000000 LO = 00000000
General Registers
R0 (r0) = 0x00000000 R8 (t0) = 0x00000004 R16 (s0) = 0x00000000 R24 (t8) = 0x0000000
R1 (at) = 0x10010000 R9 (t1) = 0x00000008 R17 (s1) = 0x00000000 R25 (t9) = 0x0000000
R2 (v0) = 0x0000000a R10 (t2) = 0x10010008 R18 (s2) = 0x00000000 R26 (k0) = 0x0000000
R3 (v1) = 0x00000000 R11 (t3) = 0x00000000 R19 (s3) = 0x00000000 R27 (k1) = 0x0000000
R4 (a0) = 0x00000004 R12 (t4) = 0x00000000 R20 (s4) = 0x00000000 R28 (gp) = 0x1000800
R5 (a1) = 0x7fff000 R13 (t5) = 0x00000000 R21 (s5) = 0x00000000 R29 (sp) = 0x7fffef
R6 (a2) = 0x7ffff004 R14 (t6) = 0x00000000 R22 (s6) = 0x00000000 R30 (s8) = 0x0000000
R7 (a3) = 0x00000000 R15 (t7) = 0x00000000 R23 (s7) = 0x00000000 R31 (ra) = 0x0040006
Double Floating Point Registers
FP0 =0x00000000,0x00000000 FP8 =0x00000000,0x00000000 FP16=0x00000000,0x00000000 FP24=0x0
FP2 =0x00000000,0x00000000 FP10=0x00000000,0x00000000 FP18=0x00000000,0x00000000 FP26=0x0
FP4 =0x00000000,0x00000000 FP12=0x00000000,0x00000000 FP20=0x00000000,0x00000000 FP28=0x0
FP6 =0x00000000,0x00000000 FP14=0x00000000,0x00000000 FP22=0x00000000,0x00000000 FP30=0x0
Single Floating Point Registers
FP0 =0x00000000 FP8 =0x00000000 FP16=0x00000000 FP24=0x00000000
FP2 =0x00000000 FP10=0x00000000 FP18=0x00000000 FP26=0x00000000
FP4 =0x00000000 FP12=0x00000000 FP20=0x00000000 FP28=0x00000000
FP6 =0x00000000 FP14=0x00000000 FP22=0x00000000 FP30=0x00000000
For Help, press F1
Bare=0; Pseudo=1; Mappe
NUM

Menú del simulador:

- Clear Registers Pone todos los registros con el valor cero (0x00000000).
- Reinitialize Borra el contenido de los registros y de la memoria, e inicia el simulador.
- Reload Reinitializa el simulador, y carga el código ensamblador actual.
- Go Ejecuta el código actual.
- Break/Continue Durante la ejecución, la para. Si está parada, la continúa.
- Single Step Ejecuta instrucción a instrucción.
- Multiple Step... Ejecuta un número de instrucciones especificado por el usuario.
- Breakpoints... Abre una ventana para especificar las posiciones de los puntos de ruptura.
- Set Value... Abre una ventana para establecer valores de memoria o de registros.
- Symbol table Muestra la tabla de símbolos en la ventana de mensajes.
- Settings Ventana para seleccionar las opciones de SPIM.

trap.handler

- Contiene el código de arranque que el SO usa para arrancar el programa ensamblador del usuario.
- Proceso de arranque: Invoca la rutina **main**, sin argumentos.
- A la vuelta, se finaliza la ejecución

```
   .text
   .globl __start
__start:
   lw $a0, 0($sp)    # argc
   addiu $a1, $sp, 4 # argv
   addiu $a2, $a1, 4 # envp
   sll $v0, $a0, 2
   addu $a2, $a2, $v0
   jal main
   li $v0 10
   syscall
```

```
.text
.globl main
main:
.........
jr $ra  #Retorna al cód.arranque
```

Código usuario

```
.text
.........  # primera intr.
.........
li $v0,10  # instr. para
syscall    # terminar
```

- **Con trap.handler activado**, la ejecución comienza en la etiqueta __start (dir. 0x00400000). El código del usuario no tiene que indicar dicha etiqueta (sí main).
- El programa de usuario finaliza con jr $ra, ejecutandose las dos últimas instrucciones del código de arranque que finalizan la ejecución y devuelven el control al S.O.
- main (invocado) debe guardar $ra y $fp del código de arranque, y debe recuperarlos antes de terminar.
- **Con trap.handler desactivado**, para arrancar hay que especificar como comienzo de la ejecución la dirección de la 1ª instrucción del programa (0x00400000).
- Hay que indicar el final del programa con instrucciones de terminación de la ejecución.