

MIPS R2000

Práctica 1

Ariel Leonardo Fideleff

9 de agosto de 2022

Capítulo 1

Cuestiones

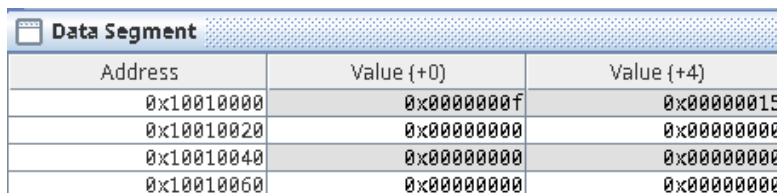
1. Apartado 1

– Declaración de palabras en memoria –

1.1 y 1.2

Como podemos ver en la Figura 1.1, los dos números enteros reservados en el programa se ubicaron en las posiciones `0x10010000` y `0x10010004`, distanciados justamente por 4 bytes ya que se corresponde con el tamaño de palabra. Es decir, si cada entero fue reservado como un `.word`, cada uno ocupa 4 bytes. Con esto, sumado a que el ensamblador los coloca uno seguido del otro en la memoria, dado que el primer valor por defecto comienza en la posición `0x10010000`, el segundo necesariamente deberá ubicarse 4 posiciones de memoria después (cada posición se corresponde con un byte).

En cuanto a los valores como tal, podemos ver la diferencia en que hayamos indicado uno en decimal, mientras el otro en hexadecimal. De esta forma, el número 15 en decimal es representado como `0x0000000f` en hexa, forma con la cual se presenta en el panel de datos. Mientras, el segundo valor, al haber sido especificado en el programa en base 16, lo reconocemos fácilmente como `0x00000015` en el panel en cuestión.



Address	Value (+0)	Value (+4)
0x10010000	0x0000000f	0x00000015
0x10010020	0x00000000	0x00000000
0x10010040	0x00000000	0x00000000
0x10010060	0x00000000	0x00000000

Figura 1.1: Datos del programa según se indican en el panel de datos

1.3

De acuerdo a lo dicho en la teoría, las etiquetas `palabra1` y `palabra2` deberían tomar el valor de las posiciones de memoria a las que hacen referencia. En este caso, las ya mencionadas `0x10010000` y `0x10010004`, respectivamente.

De hecho, como se muestra en la Fig. 1.2, esto lo podemos comprobar en la ventana *Labels*, que se puede activar desde la configuración del simulador.

Labels	
Label ▲	Address
c1-1.asm	
palabra1	0x10010000
palabra2	0x10010004

Figura 1.2: Valores de las etiquetas palabra1 y palabra2 en la ventana *Labels*

1.4

Al ensamblar el programa dado, no parece presentar ninguna diferencia con respecto al primer programa visto, ya sea tanto en la memoria, como también en otras variables visibles en el simulador (por ejemplo, los registros).

1.5

El siguiente código cumple con la consigna planteada:

```

1          .data 0x10000000          # comienzo zona de datos
2 vector:  .word 0x10, 30, 0x34, 0x20, 60      # vector de 5 nros

```

Y en la Figura 1.3 podemos comprobar que los valores fueron almacenados de forma correcta, considerando que los números 30 y 60 en decimal se corresponden con 0x0000001e y 0x0000003c en hexadecimal, respectivamente.

Data Segment					
Address	Value (+0)	Value (+4)	Value (+8)	Value (+c)	Value (+10)
0x10000000	0x00000010	0x0000001e	0x00000034	0x00000020	0x0000003c
0x10000020	0x00000000	0x00000000	0x00000000	0x00000000	0x00000000

Figura 1.3: Valores del vector de números declarado en el programa propuesto, según se indican en el panel de datos

Notar que al haber cambiado la dirección de memoria inicial donde se quiere que se almacenen los datos (respecto a la utilizada por defecto), debimos de expandir el panel de datos del simulador para poder visualizar el segmento de la memoria donde se ubicaban los valores reservados de nuestro vector, seleccionando la opción correspondiente desde un menú desplegable, tal como se lo muestra en la Figura 1.4.

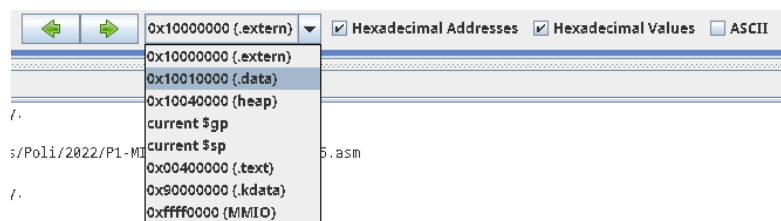


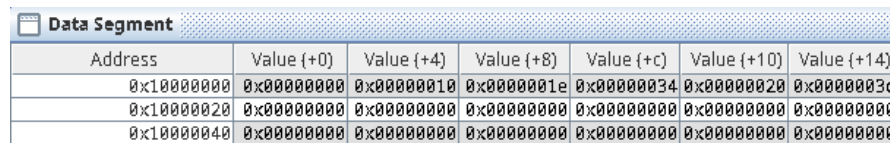
Figura 1.4: Menú desplegable para seleccionar la visualización del segmento de memoria correspondiente al utilizado por el programa planteado

1.6

Podemos probar cambiar el argumento de la directiva `.data` para intentar almacenar los datos partiendo desde la dirección `0x10000002`:

```
1          .data 0x10000002                                # comienzo zona de datos
2 vector:  .word 0x10, 30, 0x34, 0x20, 60                  # vector de 5 nros
```

Hecho este cambio, el panel de datos nos muestra que los valores ahora son almacenados partiendo desde la dirección de memoria `0x10000004`, saltando de 4 en 4 (por el tamaño de palabra, Fig. 1.5).



Address	Value {+0}	Value {+4}	Value {+8}	Value {+c}	Value {+10}	Value {+14}
0x10000000	0x00000000	0x00000010	0x0000001e	0x00000034	0x00000020	0x0000003c
0x10000020	0x00000000	0x00000000	0x00000000	0x00000000	0x00000000	0x00000000
0x10000040	0x00000000	0x00000000	0x00000000	0x00000000	0x00000000	0x00000000

Figura 1.5: Valores y respectivas posiciones de memoria del programa con argumento de `.data` modificado

Esto difiere en principio de lo que uno podría esperar, ya que se le está indicando al ensamblador que ubique la información partiendo desde la dirección de memoria `0x10000002`. El motivo por el cual ejecuta el cambio descrito, es porque se requiere que la ubicación de todos los valores se encuentren en posiciones múltiplos de 4, de forma que la memoria “esté alineada”. Éste es un requisito de la arquitectura MIPS, o bueno, al menos estamos seguros basándonos en lo visto en la teoría, que lo es para el lenguaje de máquina de los microprocesadores MIPS R2000.

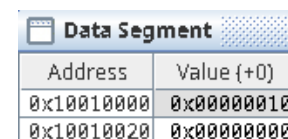
Con esto en cuenta, el ensamblador, sabiendo que indicamos el espacio para datos partiendo desde la posición de memoria `0x10000002`, buscó por la posición de memoria (mayor o igual) múltiplo de 4 más cercana, y a partir de allí ubicó los valores del vector de números reservado en el programa.

– Declaración de bytes en memoria –

1.7 y 1.8

Como ya sabemos, al no especificar ningún argumento para la directiva `.data`, los datos se ubicarán partiendo desde la dirección de memoria `0x10010000` por defecto.

Además, al tratarse de un único byte, y considerando que el valor indicado `0x10` no supera el tamaño permitido por la directiva (el máximo valor posible sería `0xFF`), éste se almacenaría “al comienzo de la palabra”, efectivamente implicando que el valor de la palabra que contiene el byte sea el mismo al especificado. Al fin y al cabo, el tamaño de una palabra es mayor al de un byte (justamente, 4 bytes), por lo que resulta en que el valor de la palabra sea el mismo al valor del tamaño de un byte, antecedido por 0s que no cambian el entero final almacenado.



Address	Value {+0}
0x10010000	0x00000010
0x10010020	0x00000000

Figura 1.6:
Representación del contenido especificado en la memoria, visto desde el panel de datos

1.9 y 1.10

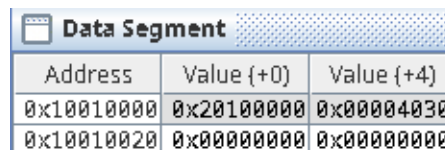
En este caso, se almacenan los valores **0x40302010** y **0x10203040** en las posiciones de memoria **0x10010000** y **0x10010004** respectivamente.

Si bien el segundo valor es indicado como tal de forma explícita en el código presentado, el primer valor, en cambio, es el resultado de almacenar un vector de 4 valores especificados del tamaño de 1 byte. Esto nos muestra que el simulador, por un lado, almacena los valores indicados con la directiva **.byte** de forma contigua, independientemente de que los valores sean accedidos de a una palabra a la vez. Por otro lado, nos indica también el orden que utiliza para guardar los datos dentro de una palabra, el cual puede ser identificado afín con el concepto de *Little-Endian*, el cual consiste en la organización y alineamiento de los datos de forma que, aplicado a este caso, “lo que va primero” se almacene en las direcciones de memoria más bajas, y así en adelante.¹

Esta conclusión la podemos obtener partiendo, primero, en que sabemos que el valor presentado en el panel de datos de una palabra **0xFFFFFFFF**, se corresponde con la representación en hexadecimal de los bytes en posiciones de memoria menores a mayores, interpretadas de derecha a izquierda. Para probar esto, podemos modificar el programa descripto para la consigna, y especificar que los datos se ubiquen partiendo desde la dirección de memoria **0x10010002**:

```
1      .data    0x10010002
2  palabra1:   .byte  0x10,0x20,0x30,0x40      # hexadecimal
3  palabra2:   .word  0x10203040                # hexadecimal
```

Con este cambio, la palabra en la dirección **0x10010000** almacena ahora el valor **0x20100000**, a la vez que la palabra en la dirección **0x10010004** almacena los dos valores restantes del vector de **.byte** (valor **0x00004030**, ver Fig. 1.7), demostrando cómo los bytes se corrieron dos posiciones desde la derecha (posiciones como bytes, que en hexadecimal se corresponde con dos dígitos, así representando un espacio de 4 dígitos para haber cambiado la dirección de memoria de **.data** dos posiciones adelante de la usada por defecto).



Address	Value (+0)	Value (+4)
0x10010000	0x20100000	0x00004030
0x10010020	0x00000000	0x00000000

Figura 1.7: Valores de las palabras en memoria correspondientes al vector de **.byte**, tras indicar que los datos se almacenen desde la posición **0x10010002**

Teniendo esto en cuenta, vemos que los valores del vector de **.byte** fueron almacenados en orden creciente respecto a posiciones de memoria que también crecen. Así, como en el programa indicamos los números **0x10**, **0x20**, **0x30** y **0x40** (en este orden), el primero de todos, el **0x10**, se encuentra en la posición de memoria **0x10010000**, luego el **0x20** en la posición **0x10010001**, y así sucesivamente.

Por ende, leemos el vector completo como el valor de una palabra **0x40302010** (siendo 4 elementos, exactamente la misma cantidad como hay de bytes en una palabra, siendo una sola suficiente

¹Más formalmente, el concepto de *Little Endian* hace referencia a que los bytes menos significativos dentro de una palabra sean almacenados en posiciones de memoria más chicas, relacionándose principalmente con la forma en la que se *internamente* se manejan y ordenan los bytes de una palabra.

para representar la totalidad de dicho vector). Mientras, guardar el valor `0x10203040` nos da una pauta de cómo se hubieran almacenado los valores del vector en cuestión si el ensamblador hubiera tenido un comportamiento que se acercara a *Big-Endian* (en el cual los “últimos números” se guardarían en las posiciones de memoria más pequeñas/bajas).

1.11

A pesar del comportamiento de juntar los valores del tamaño de 1 byte en palabras, esto no afecta sobre los valores de las etiquetas `palabra1` y `palabra2`, que indican la primera posición de memoria desde la cual parte cada valor (en este caso, digamos, el vector y el segundo valor). Además, ayuda que puntualmente el vector definido en la consigna pueda estar contenido en una sola palabra, como ya mencionamos.

Por lo tanto, las etiquetas `palabra1` y `palabra2` toman los valores `0x10010000` y `0x10010004` respectivamente.

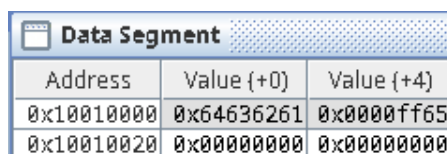
– Declaración de cadenas de caracteres –

1.12

Para localizar la cadena ingresada en el programa dentro de la memoria, sabemos que debería de comenzar en la posición `0x10010000` ya que, como venimos repitiendo, es la dirección por defecto donde comienzan los datos si no se le provee un argumento a la directiva `.data`.

Observando la valor de la palabra en la dirección mencionada, nos encontramos con el valor `0x64636261`. El patrón que tiene este valor es familiar con el explorado en la sección interior, en el cual veíamos cómo múltiples bytes estaban almacenados dentro de una palabra. Con esto en cuenta, podemos pensar que ésta posiblemente contenga los bytes individuales `0x61`, `0x62`, `0x63` y `0x64`, leyendo de posiciones menores a mayores en memoria. Considerando que la forma en que estos valores crecen se asemeja mucho con cómo nuestra cadena contiene caracteres consecutivos y lexicográficamente crecientes, sumado a que el nombre de la directiva utilizada en el programa para almacenar la cadena recibe el nombre de `.ascii`, es intuitivo pensar que los bytes antes identificados se correspondan con las letras de la cadena en cuestión.

Comprobando nuestras sospechas, `0x61` equivale al número 97 en decimal, número correspondiente a la letra 'a' en el código ASCII. Sucesivamente el resto de bytes equivalen en decimal entonces a los números 98, 99 y 100, correspondientes a las letras 'b', 'c' y 'd' en ASCII.



Data Segment		
Address	Value {+0}	Value {+4}
0x10010000	0x64636261	0x0000ff65
0x10010020	0x00000000	0x00000000

Figura 1.8: Valores en memoria tras el ensamblado del código indicado

De todas formas, debemos recordar que nuestra cadena era "abcde", por lo que nos estaría faltando ubicar la letra 'e'. Como podemos ver en la Figura 1.8, la próxima palabra en la posición `0x10010004` contiene el valor `0x0000ff65`. El 65 en las posiciones menos significativas del valor surge como continuación de la cadena de caracteres, el cual se encuentra en la posición de memoria siguiente al 64 de la palabra anterior, pero que se nos muestra de esta forma al tener

que ubicarse por fuera del espacio de la primera palabra (en simples palabras, “no entraba” en la primera palabra), y por lo ya discutido en la sección anterior.

Luego, el `ff` que le sigue al `65` se corresponde con el valor almacenado con la directiva `.byte` dentro del programa.

1.13

Si empleamos la directiva `.asciiz` en vez de la directiva `.ascii` en el programa de la Cuestión anterior, el cambio que se observa es el agregado de lo que sería el equivalente a un byte *vacío* entre el final de la cadena, y el próximo valor almacenado con la directiva `.byte`. Es decir, mientras la primera palabra no cambia, la segunda en memoria toma ahora el valor `0x00ff0065`.

Este compartimiento es similar a la forma en la que, en lenguajes de programación como `C`, se agrega un caracter con valor ASCII = 0 al final de una cadena, conocido como el *terminador* (generalmente representado como `'\0'`). Haciendo uso de este caracter, se puede determinar en qué punto finaliza una cadena de caracteres, incluso conociendo sólo el comienzo de la misma y que sus elementos se encuentran en posiciones de memoria consecutivas. Por lo tanto, al operar con ella, es sólo cuestión de recorrer todas estas posiciones partiendo desde la primera, hasta encontrarse con un byte `0x00` que indica el final.

1.14

Podemos reemplazar la directiva `.ascii` con la `.byte` cargando posiciones en memoria con un vector de los caracteres de la cadena original, representados con su valor ASCII:

```
1      .data
2  cadena:      .byte  97, 98, 99, 100, 101          # defino string
3  octeto:      .byte  0xff
```

De hecho, podemos incluso utilizar los caracteres como tales, en vez de sus equivalentes en ASCII, y el ensamblador se encargará de transformarlos en sus valores numéricos correspondientes:

```
1      .data
2  cadena:      .byte  'a', 'b', 'c', 'd', 'e'        # defino string
3  octeto:      .byte  0xff
```

– Reserva de espacio en memoria –

1.15 y 1.16

Observando el panel de datos con los valores en la memoria (Fig. 1.9), podemos ver que se ha reservado el tamaño equivalente a exactamente dos palabras, para la variable `espacio`. Esto equivale a 8 bytes, entendiéndose así que el parámetro de la directiva `.space` está expresado en cantidad de bytes que se quiere reservar en memoria.

Dicho esto, entonces el rango de posiciones que se han reservado en la memoria para la variable es `[0x10010004, 0x1001000b]`. Las palabras en posiciones `0x10010000` y `0x1001000c` contienen los valores `0x20` y `0x30` respectivamente, declarados con la directiva `.word` en el programa.

Data Segment				
Address	Value {+0}	Value {+4}	Value {+8}	Value {+c}
0x10010000	0x00000020	0x00000000	0x00000000	0x00000030
0x10010020	0x00000000	0x00000000	0x00000000	0x00000000

Figura 1.9: Valores en memoria tras ensamblar el programa dado

– Alineación de datos en memoria –

1.17

Se reservó el rango de posiciones `[0x10010001, 0x10010004]` en memoria para la variable `espacio`.

1.18

Si bien los cuatro bytes reservados podrían contener la información de una palabra, éstos no podrían funcionar como tal ya que, como dijimos en la Cuestión 1.6, la memoria de una palabra tiene que *estar alineada*, en el sentido que cada una debe comenzar en una posición de memoria múltiplo de 4.

Desde lo visto en la teoría, la arquitectura de MIPS nos permite leer información de la memoria de a una palabra a la vez, pues su tamaño equivale al ancho del bus de datos, y esto necesariamente debe ser en posiciones iniciales múltiplos de 4. Por tal motivo, si quisiéramos usar los 4 bytes reservados para `espacio` como un único espacio de memoria del tamaño de una palabra, realmente deberíamos acceder para cada operación necesaria a las palabras en las direcciones `0x10010000` y `0x10010004`, que lo hace poco práctico e ineficiente para este propósito. Esto sin mencionar las operaciones adicionales que se requerirían para juntar ambas palabras, o también descartar información en otras posiciones que se encuentren en las palabras, pero que no corresponda al espacio asignado para la tarea.

1.19

El `byte1`, al haberse declarado al comienzo del programa, fue inicializado en la posición de memoria `0x10010000`. Mientras, como el `byte2` fue declarado al final del programa, éste fue posicionado en la dirección de memoria `0x10010005`, después del espacio reservado para la variable `espacio`.

1.20

Finalmente, la variable `palabra` fue inicializada partiendo de la posición `0x10010008` en la memoria. Esto se debe a que como la variable fue declarada con la directiva `.word`, ésta debe de ocupar una palabra entera, a pesar de que la memoria esté ocupada hasta la posición `0x10010005`. En consecuencia, la variable se ubica en la posición ya mencionada, teniendo en cuenta que la anterior palabra en la posición `0x10010004` tiene un byte ocupado por la variable `byte2`.

Esta situación es similar a la vista en la Cuestión 1.6, en el cual la declaración de una variable con `.word` fue dada a partir del comienzo de la *palabra* más próxima libre, en vez de comenzar desde la primera *posición* libre.

Data Segment			
Address	Value {+0}	Value {+4}	Value {+8}
0x10010000	0x00000010	0x00002000	0x0000000a
0x10010020	0x00000000	0x00000000	0x00000000

Figura 1.10: Vista de la memoria posterior al ensamblado del código de las Cuestiones 1.17-1.20

1.21 y 1.22

De haber entendido correctamente el rol de la directiva **.align**, ésta hará que la próxima directiva de declaración de algún dato se coloque partiendo desde la próxima potencia de 2^n , siendo n el argumento que recibe la directiva. En este caso, como la directiva recibe al número *2* como argumento, la variable **espacio** se reservará partiendo desde la primera posición múltiplo de $2^2 = 4$ libre más cercana. Considerando que la primera posición de memoria libre a este punto es la 0x10010001 (ya que **byte1** ocupa la anterior), la próxima posición múltiplo de 4 disponible es la 0x10010004. Podemos confirmar nuestra sospecha al ver el valor de la posición de memoria a la que hace referencia **espacio** en la ventana Labels (Fig. 1.11).

Labels	
Label ▲	Address
c1-21.asm	
byte1	0x10010000
byte2	0x10010008
espacio	0x10010004
palabra	0x1001000c

Figura 1.11: Valores en memoria de las etiquetas para el código de las Cuestiones 1.21-1.22

Luego, como la directiva **.space** recibe un *4* como argumento, se reservan 4 posiciones desde la inicial, efectivamente inicializándose en el rango [0x10010004, 0x10010007].

El hecho de reservar 4 posiciones de memoria (4 bytes), como también haber alineado la variable con una posición múltiplo de 4, hacen que el espacio reservado pueda constituir una palabra. No sólo el tamaño es igual al de una palabra (como ya vimos en la pregunta de la Cuestión 1.18), sino que también está alineada apropiadamente con el comienzo de una palabra. Al fin y al cabo, justamente es la directiva **.align** la cual se encargó de hacerlo, ya que al indicarle el *2* como argumento, alineó el espacio con una posición múltiplo de $2^2 = 4$, como es apropiado para una palabra (según lo discutido en la Cuestión mencionada).

Con todo esto en cuenta, podemos decir resumidamente que:

*La directiva **.align** ubica en memoria el próximo dato declarado a partir de la primera posición libre que sea múltiplo de 2^n , siendo n el argumento pasado a la directiva.*

2. Apartado 2

2.1

La dirección de memoria donde se encuentra la instrucción en cuestión es la 0x00400000, y ocupa el tamaño de exactamente una palabra (4 bytes = 32 bits). El valor que la representa

es `0x3c108690`. Como sabemos que es una traducción de código en Assembly que conocemos, podemos deducir las partes que lo componen. Sin embargo, si bien algunas de ellas pueden ser reconocidas desde su representación en hexadecimal, deberemos de remitirnos a su equivalente en binario para darle completo sentido a cómo es que realmente funciona.

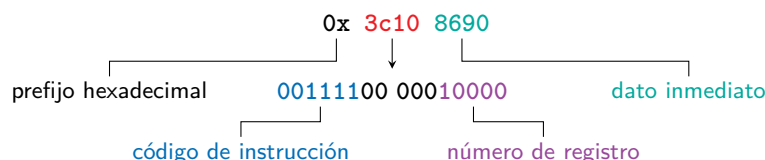


Figura 1.12: Formato del valor contenido en memoria para la instrucción ingresada

En la Figura 1.12 vemos las 4 partes del valor en memoria para la instrucción:

- El **prefijo hexadecimal**, el cual ya bien sabemos nos indica que un valor dado está representado en una notación numérica con base 16.
- El **código de instrucción** (conocido como *opcode*), es decir, un valor que nos indica qué tipo de instrucción se está indicando a ejecutarse. En el código tratado, se corresponde con informar que se quiere llevar a cabo la instrucción `lui`.

El motivo por el cual para poder separar este campo debemos convertir en binario los primeros dos bytes de la palabra, es que el código de instrucción ocupa los primeros 6 bits de la palabra. Por lo tanto, al pasarse a base 16, no es claramente distinguible. Por la misma razón así sucede con los siguientes dos grupos de 5 bits (el primero de ellos ignorado para la instrucción `lui`).

- El **número de registro**, que contiene el identificador del registro al cual el dato inmediato será cargado. Si bien en código Assembly éste es representado con un nombre `$s0`, internamente los registros son enumerados del 0 al 31, haciendo que esta abstracción sea interpretada por el ensamblador al cargarse la instrucción en memoria. De hecho, en el programa dado se puede reemplazar `$s0` por `$16` sin repercusiones.
- El **dato inmediato**, el cual como ya vimos en la teoría, es un valor del tamaño de media palabra (2 bytes = 16 bits), el cual será cargado en los 16 bits más significativos del registro especificado. Debido a su tamaño en bits múltiplo de 4, sumado a que se lo representa en el código en hexadecimal dentro del código en cuestión, lo hace fácil de distinguir en la representación en hexa del valor en memoria.

2.2

Efectivamente, al correr el programa, los primeros 2 bytes del registro son cargados con el valor `0x8690`, así quedando la palabra almacenada en el registro como `0x86900000`.

2.3

Capítulo 2

Problemas

– Apartado 1 –

1.

```
.data
dato: .byte 3          # inicializo una posición de memoria a 3
      .text
      .globl main      # debe ser global
main:  lw $t0,dato($0)
```

En **rojo** se indican las etiquetas, en **azul** las directivas, en **gris** los comentarios, y en **celeste** las instrucciones.

2.

```
      .data 0x10000000
A:    .space 80
B:    .space 80
```

Utilizo dos directivas **.space** pasándoles el número *80* como argumento pues si una palabra son 4 bytes, y cada vector tiene que tener 20 palabras: $20 \cdot 4 \text{ bytes} = 80 \text{ bytes}$.

3.

```
      .data 0x10001000
palabra1: .space 4
byte1:   .space 1
         .align 2
palabra2: .space 4
```

4.

```
      .data
palabra1: .word 3
byte1:   .byte 0x10
         .align 2
espacio1: .space 4
byte2:   .byte 20
```

5.

```
.data
palabra1: .ascii "Esto es un problema"
palabra2: .byte 'E','s','t','o',' ','e','s',' ','u','n',' ','p','r','o',
↪ 'b','l','e','m','a'
palabra3: .word 0x6f747345, 0x20736520, 0x70206e75, 0x6c626f72,
↪ 0x00616d65
```

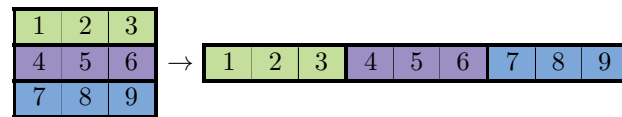
6.

```
.data
por_filas: .byte 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9
por_columnas: .byte 1, 4, 7, 2, 5, 8, 3, 6, 9
```

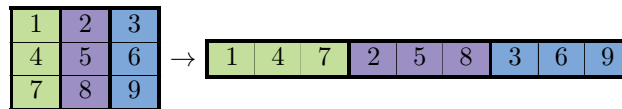
En ambos casos uso vectores de bytes, ya que los números de la matriz son lo suficientemente pequeños para ser almacenados de esta manera.

Al guardar la matriz por filas, termina resultando en un orden creciente, ya que entendemos que al “almacenar por filas”. vamos guardando las filas de arriba hacia abajo, y los valores de cada una se almacenarán de forma consecutiva, como se leen de izquierda a derecha.

Mientras, al guardar la matriz por columnas, entendemos que almacenamos las columnas de izquierda a derecha, y que los valores de cada una de ellas se almacenarán de forma consecutiva, como se leen de arriba a abajo.



(a) Almacenar por filas



(b) Almacenar por columnas

Figura 2.1: Visualización de las dos formas de almacenar la matriz A del ejercicio