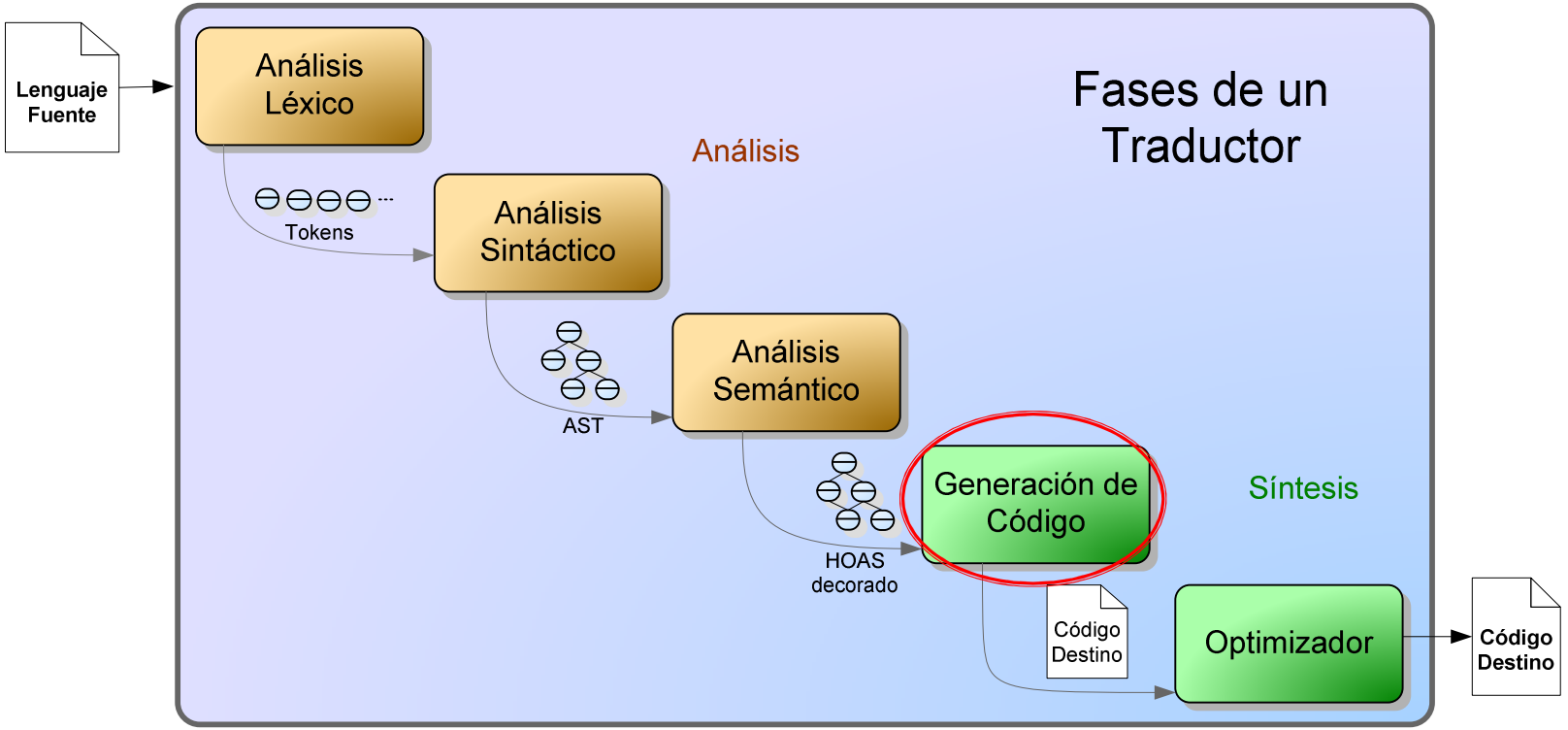
Generación de Código (I)

Diseño de Lenguajes de Programación
Ingeniería Informática
Universidad de Oviedo
(v1.9)

Raúl Izquierdo Castanedo

Usted está aquí…



Cuál es la situación

Alto Nivel	
Datos	**Código**
Arrays	Funciones
Estructuras	Sobrecarga
Referencias	Enlace dinámico
Clases	Funciones de Primer Orden
Genericidad	Excepciones
…	…

Bajo nivel	
Datos	**Código**
Enteros	Mover bytes
Reales	Operar
	Saltar

Qué hay que hacer

La fase de Generación de Código se encarga de determinar...

- Cómo se representan los Datos
  - Representar los tipos abstractos de alto nivel con las limitaciones de la plataforma de destino
- Cómo se traduce el Código
  - Traducir las sentencias de alto nivel a secuencias de instrucciones de la plataforma de destino

```
personas[2].edad = 5
```



```
pusha 38
push 5
store
```

Subfases:

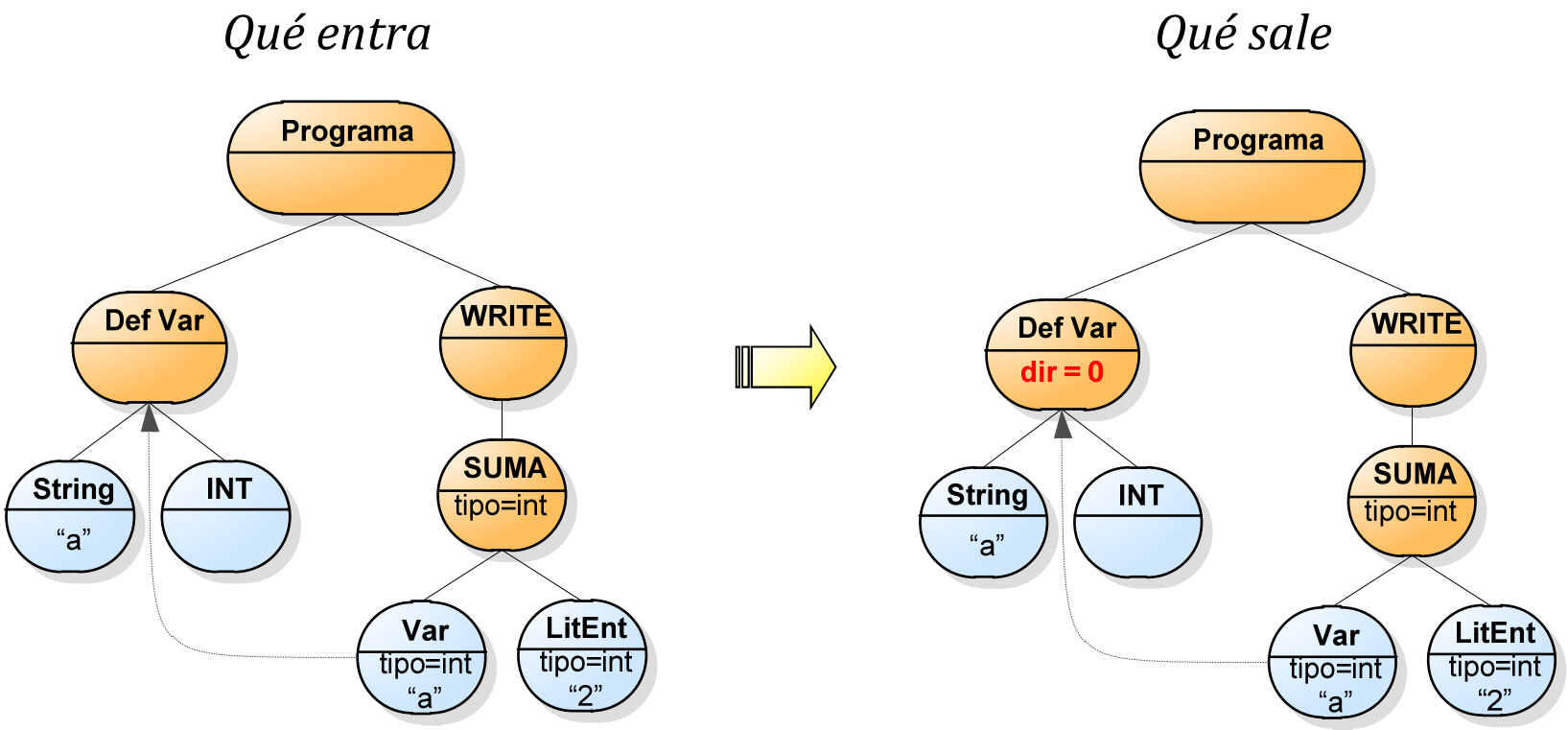
- Gestión de Memoria
- Selección de Instrucciones

Gestión de Memoria

Gestión de Memoria

Fase que se encarga de

- Determinar ***cómo*** y ***dónde*** representar todas las abstracciones de alto nivel en la plataforma de destino



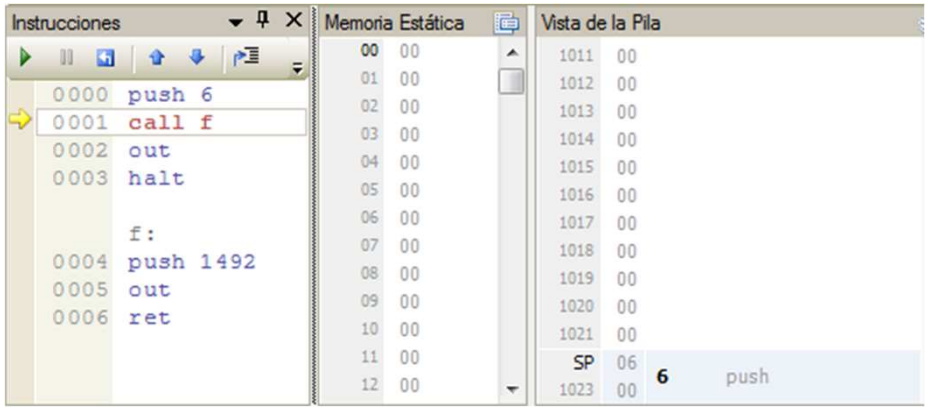
Gestión de Memoria

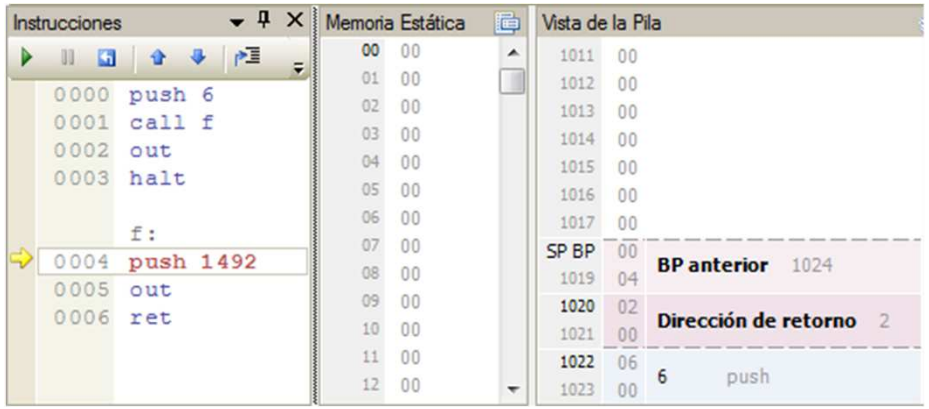
Para determinar *cómo* ubicar cada símbolo se necesita saber

- ¿De qué se dispone en la plataforma destino?
  - Normalmente
    - Segmento de Código
    - Segmento de Datos
    - Segmento de Pila

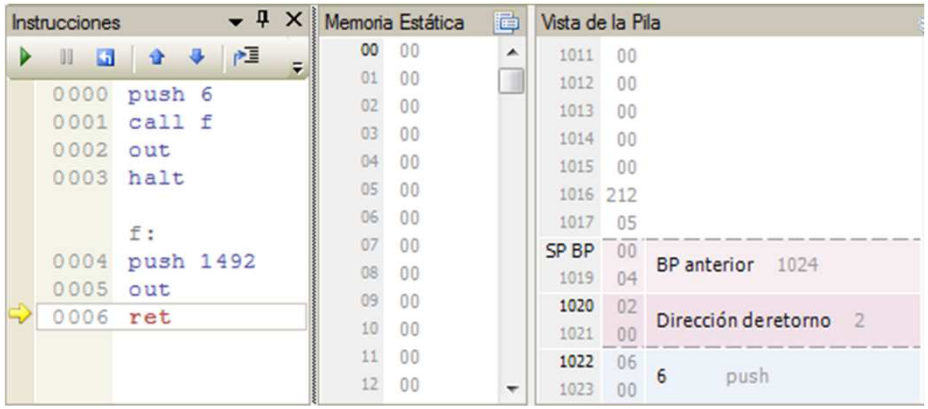
Segmento de Pila: Control de Flujo

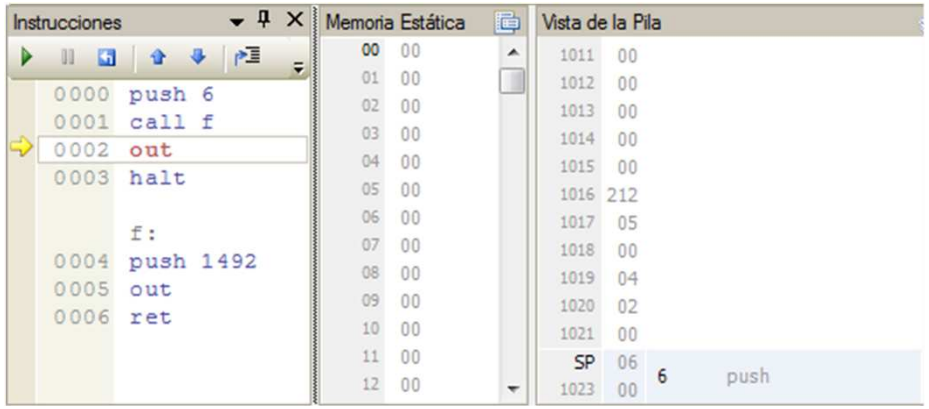
call *<etiqueta>* ⇒
- push *(IP+1)*
- push BP
- BP = SP
- jmp *<etiqueta>*





ret ⇒
- BP = pop
- IP = pop

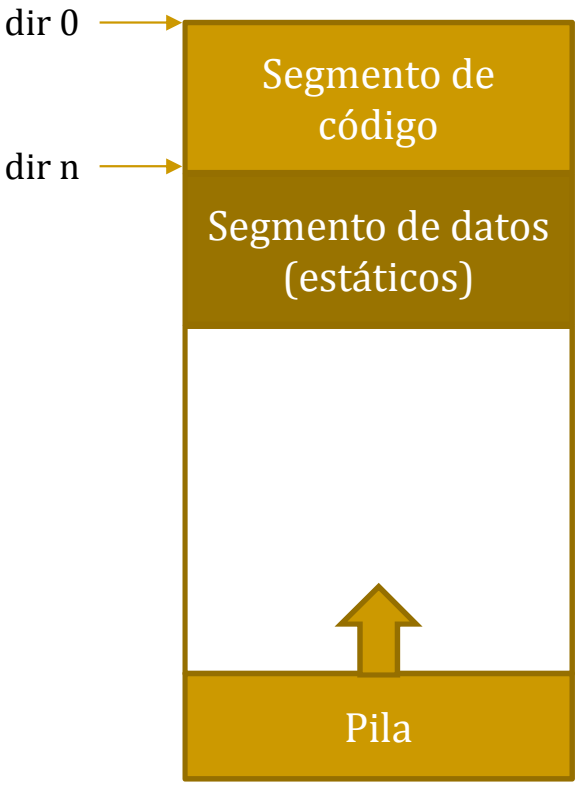


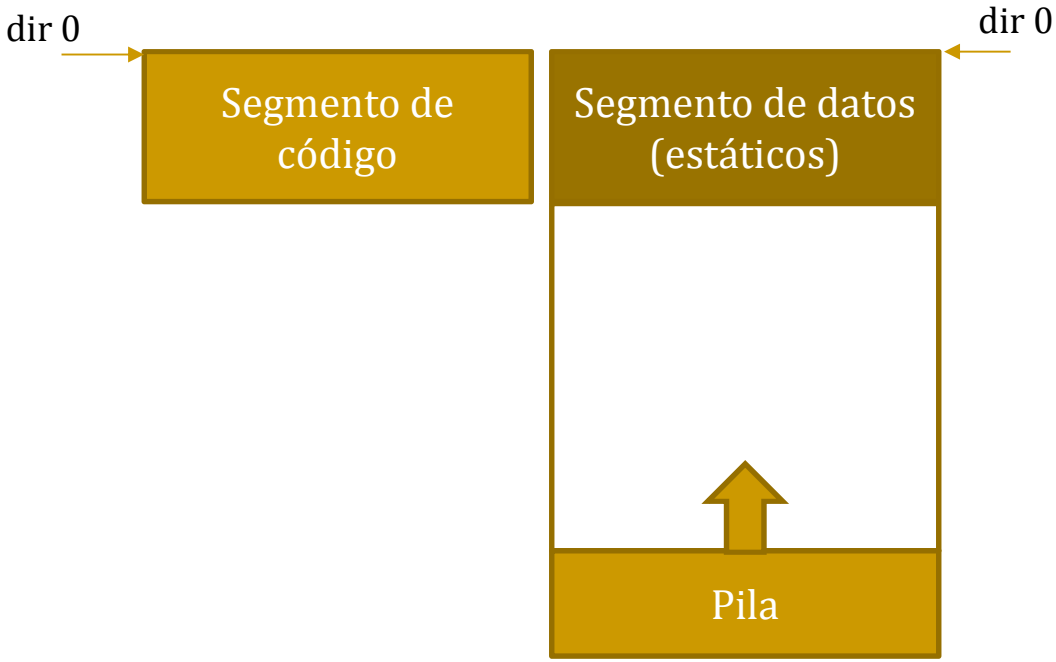


Ubicación de los segmentos

Los tres segmentos anteriores pueden aparecer:

- En mismo espacio de direcciones
- En espacios separados
- Esquema mixto





Representación de Datos

Representación de Datos

La representación de un dato se determina en función de:

- Su ámbito
- Su tipo

¿Qué determina cada uno?

Representación de Datos por Ámbito

Representación por ámbito

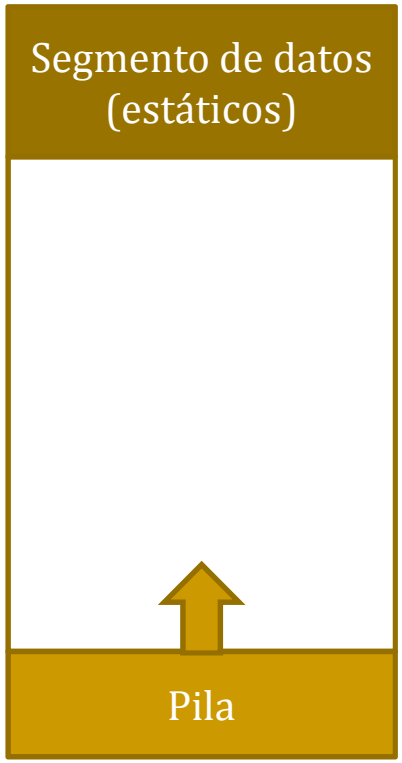
El ámbito de una dato indica DÓNDE se representa

Los datos más habituales son:

- Variables globales
- Literales
- Variables locales
- Parámetros
- Valores de retorno

Para cada uno de ellos hay que determinar

- En qué segmento se ubican
- En qué dirección dentro del mismo



Variables Globales

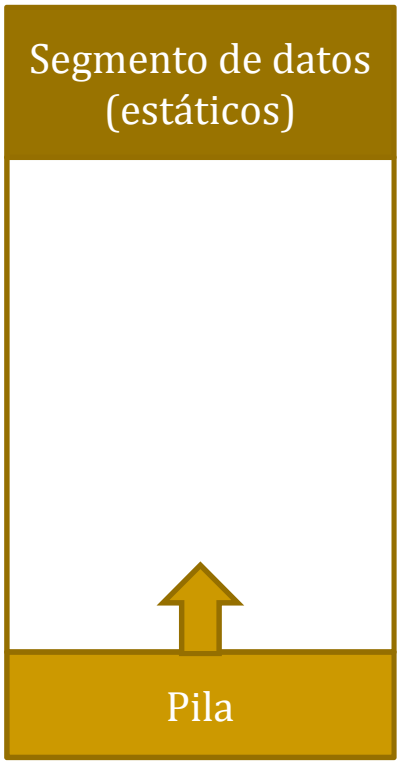
Representación de variables globales

- ¿En qué segmento se ubican?
  - ¿En qué dirección?

```
int a;
real f;
char c;
real g;
```

- ¿Qué código se generaría?

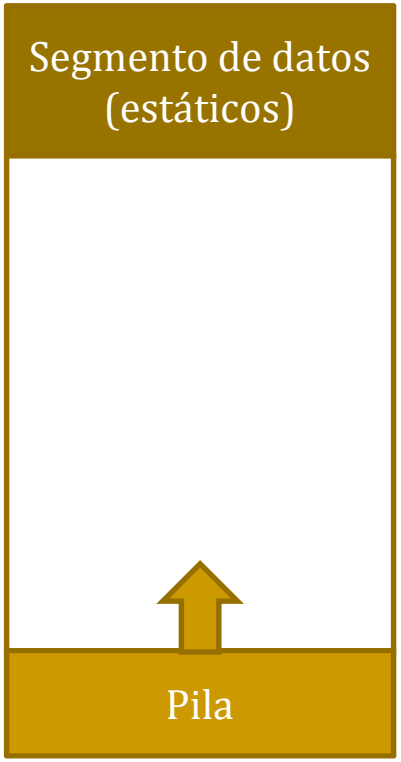
```
f = 1,618;
```



Variables Locales

Representación de variables locales

- ¿En qué segmento se ubican?
  - Depende

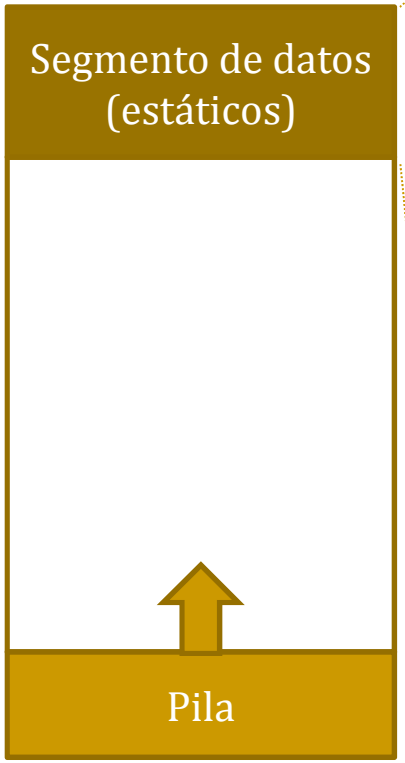


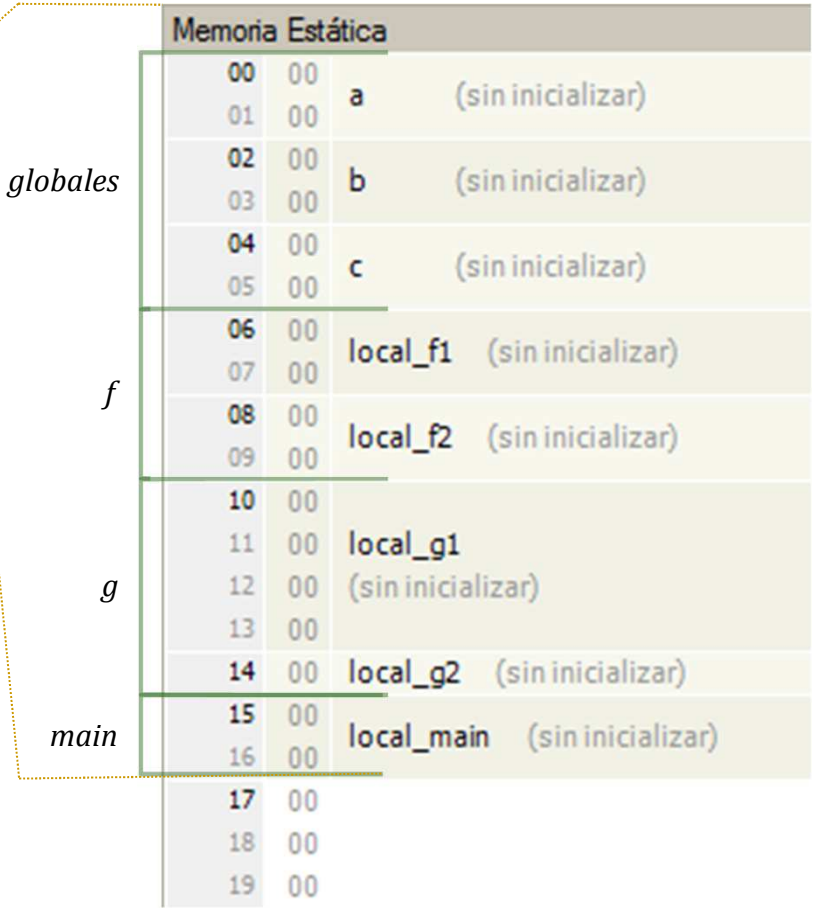
Variables locales en Segmento de Datos

Representación de variables locales

- En segmento de datos

```
int a;
int b;
real c;

void f() {
   int local_f1;
   int local_f2;
   g();
}

void g() {
   real local_g1;
   char local_g2;
   g();
}

void main() {
   int local_main;
   f();
}
```





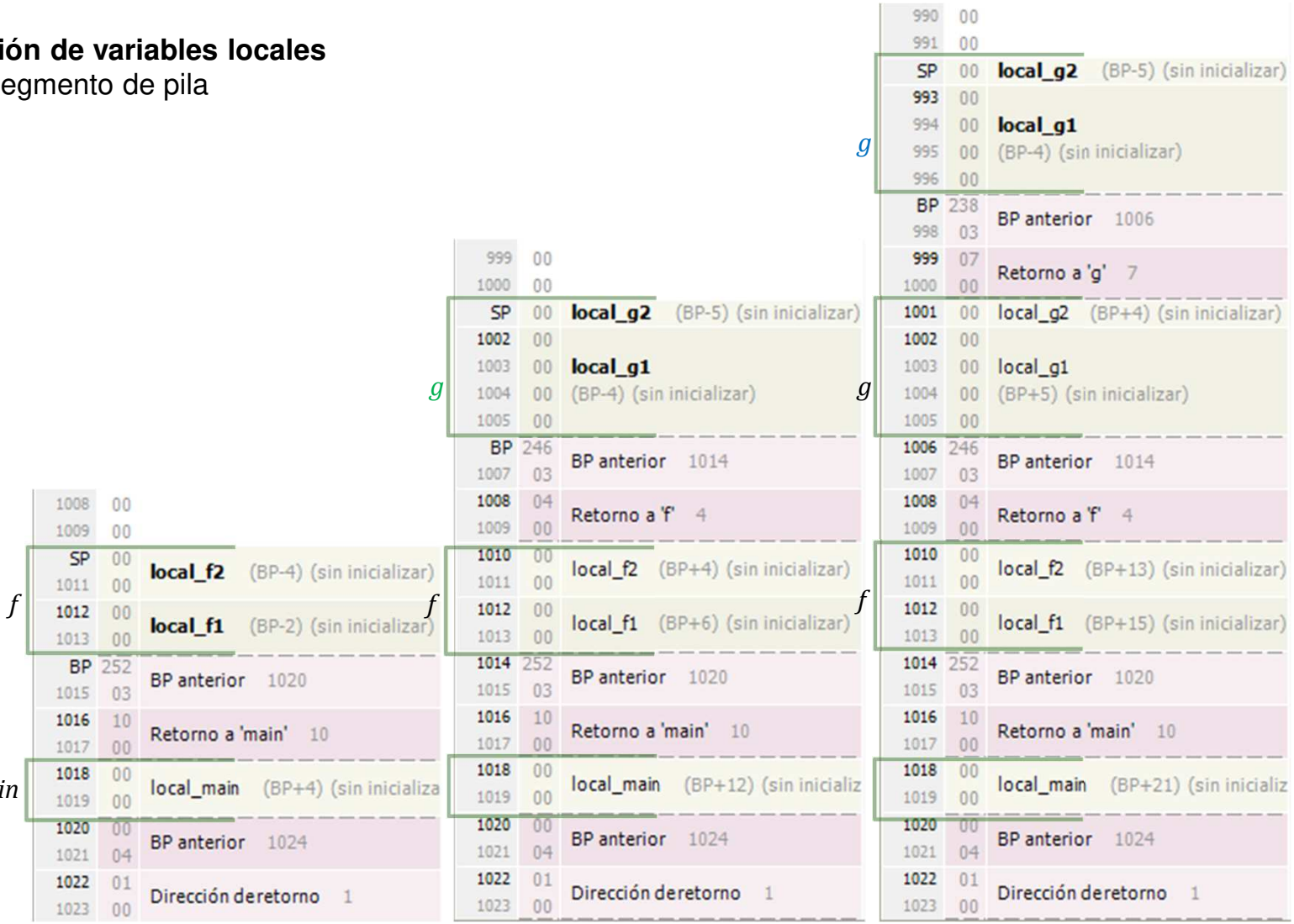
- ¿Cómo se asignan direcciones?
- ¿Qué no se puede hacer en estos lenguajes?

Variables locales en la Pila

Representación de variables locales

- En segmento de pila

```
int a;
int b;

void f() {
   int local_f1;
   int local_f2;
   g();
}

void g() {
   real local_g1;
   char local_g2;
   g();
}

void main() {
   int local_main;
   f();
}
```



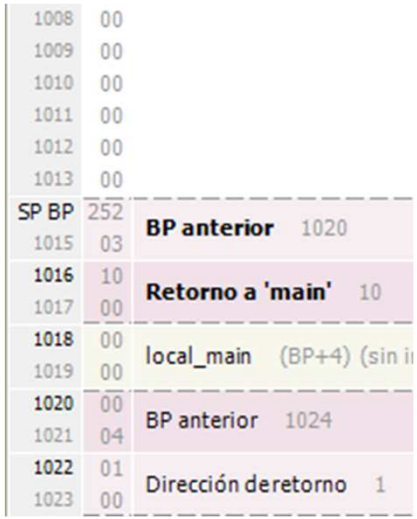
Variables locales. Creación (I)

Representación de variables locales

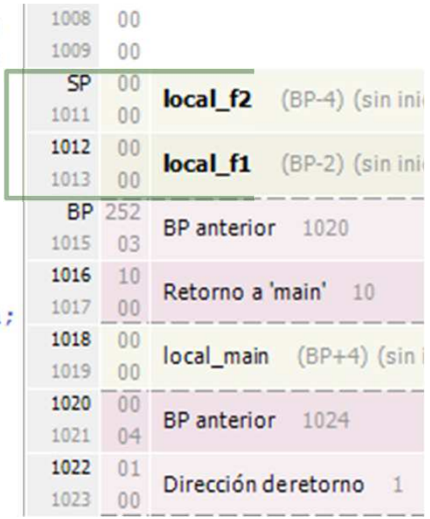
- ¿Cómo se reserva el espacio para las locales de cada función dinámicamente?

```
      void f() {
         int local_f1;
         int local_f2;
0002     enter 4
         g();
0003     call g  [0005]
      }
0004  ret 0, 4, 0

      void g() {
         real local_g1;
         char local_g2;
0005     enter 5
         g();
0006     call g  [0005]
      }
0007  ret 0, 5, 0

      void main() {
         int local_main;
0008     enter 2
         f();
0009     call f  [0002]
      }
0010  ret 0, 2, 0
```

enter <n> ⇒ SP = SP – <n>




```
      void f() {
         int local_f1;
         int local_f2;
0002     enter 4
         g();
0003     call g  [0005]
      }
0004  ret 0, 4, 0

      void g() {
         real local_g1;
         char local_g2;
0005     enter 5
         g();
0006     call g  [0005]
      }
0007  ret 0, 5, 0

      void main() {
         int local_main;
0008     enter 2
         f();
0009     call f  [0002]
      }
0010  ret 0, 2, 0
```



Variables locales. Direcciones

Representación de variables locales en el segmento de pila

- ¿Cuál es su dirección?

$$dir(local_i) = BP - \sum_{j=0}^{i} tamaño(localj)$$

```
void f() {
   int f1;
   int f2;

   f1 = 0;
}

void g() {
   real g1;
   f();
}

void main() {
   char c1;
   char c2;
   f();
   g();
}
```

pusha ¿?
push 0
store

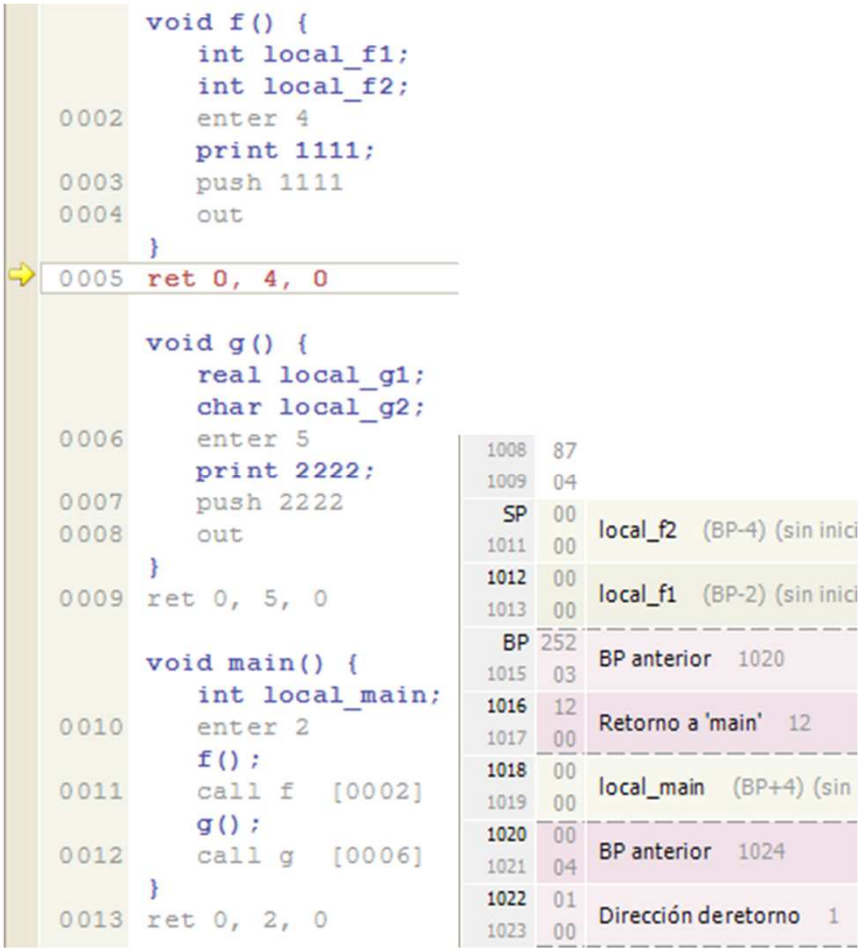
2

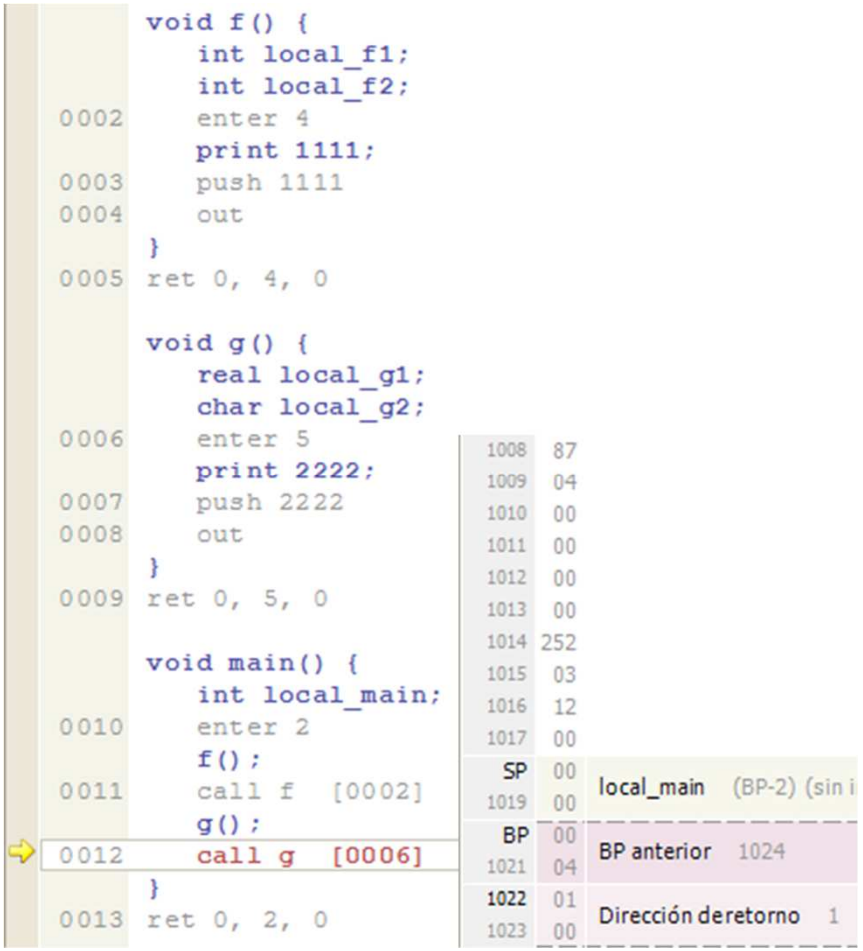
1

¿Y la solución es?

Variable locales. Liberación

¿Cómo debería quedar la pila al salir de una función?





Variables locales. Ejemplo E1

Mostrar

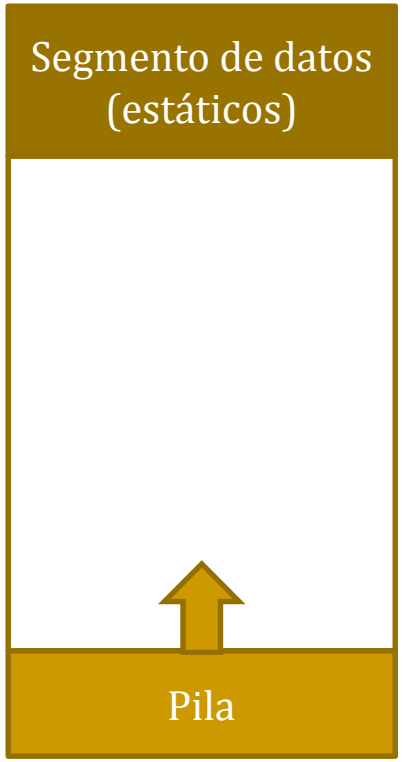
- Direcciones de todas las variables del programa en el momento de entrar en la función ejemplo
- Escribir el programa equivalente en MAPL

```
void main() {
  char c;
  int a;
  int b;

  a = 37;
  read b;
}
```

Parámetros

La forma más habitual de ubicar los parámetros son:

- Registros
- Memoria
  - Segmento de Datos
  - Segmento de Pila



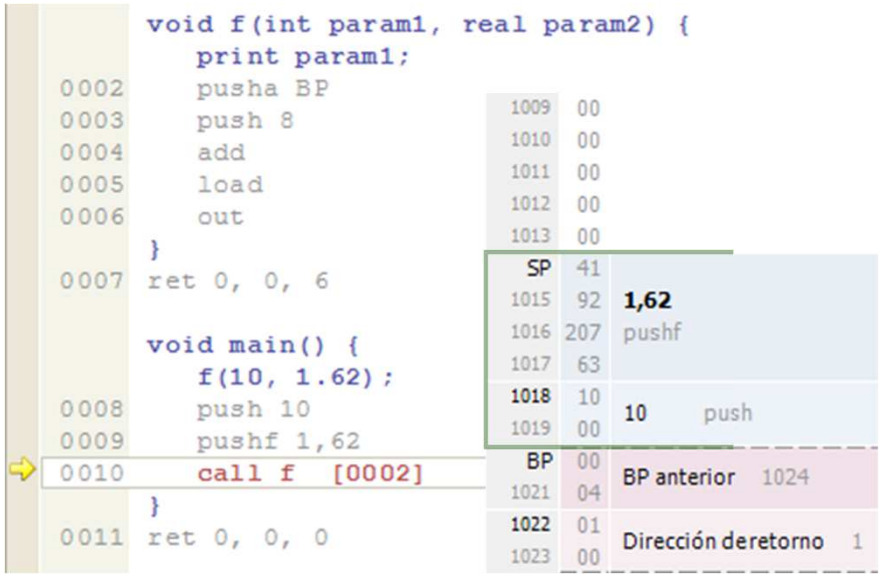
Parámetros en Segmento de Datos

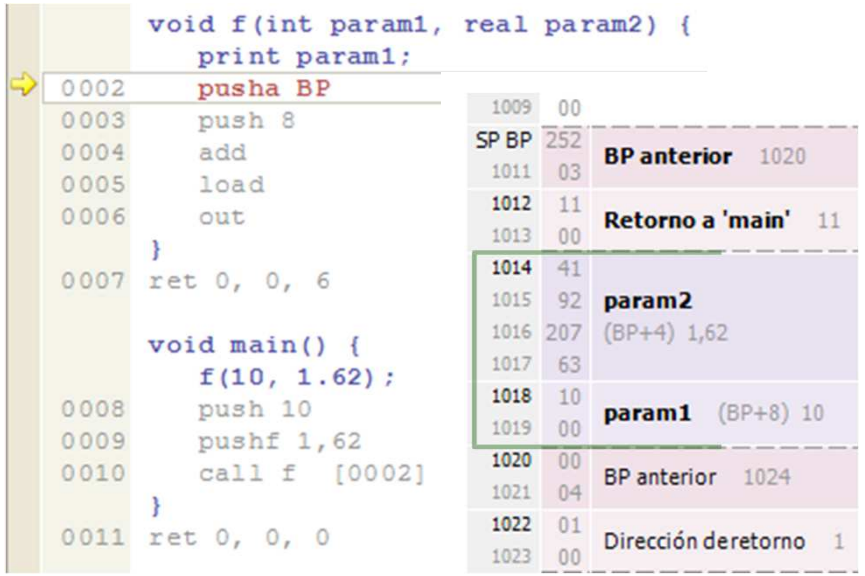
Parámetros en segmento de datos

```
int a;
int b;
real c;

void f(real par1) {
   int local_f1;
   char local_f2;
   g(2222);
}

void g(int par2) {
   real local_g1;
   char local_g2;
}

void main() {
   int local_main;
   f(10);
}
```


```
int a;
int b;
real c;

real par1
int local_f1;
char local_f2;

int par2;
real local_g1;
char local_g2;

 int local_main;

void f() {
   par2 = 2222;
   g();
}

void g() {
}

void main() {
   par1 = 10;
   f();
}
```

Parámetros en Segmento de Pila





$$dir(param_i) = BP + 4 + \sum_{j=i+1}^{n} tamaño(paramj)$$

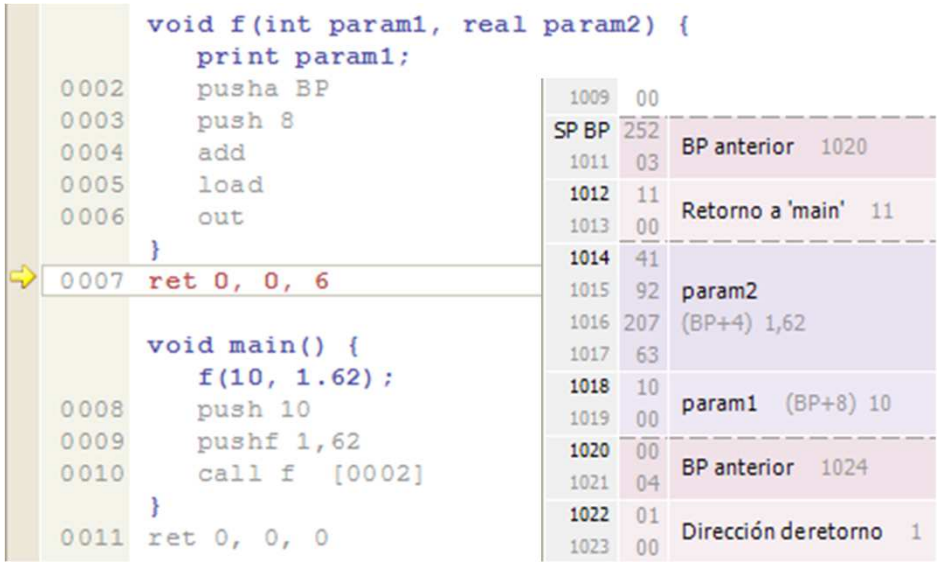
¿Cómo imprimiría *f* su segundo parámetro?

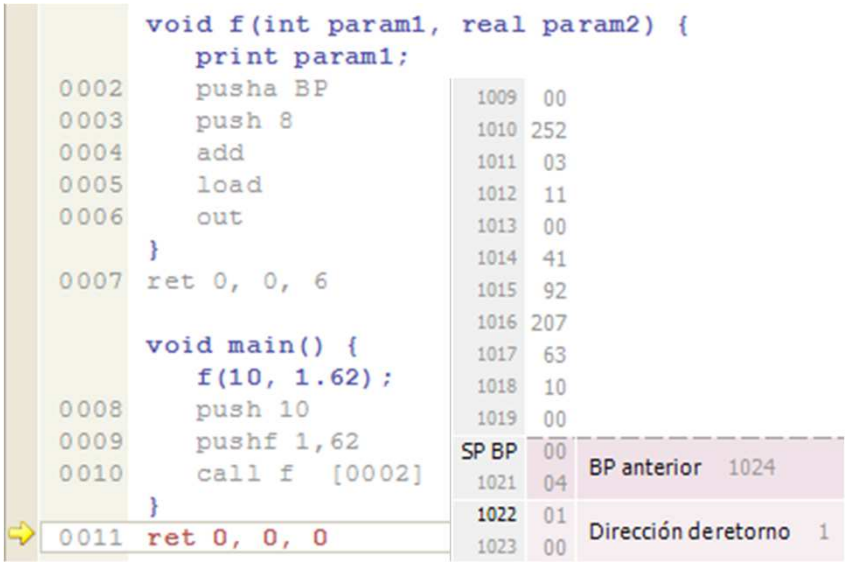
print param2;

Parámetros. Liberación

¿Cómo se borran los parámetros?

- ¿Cómo debería quedar la pila?

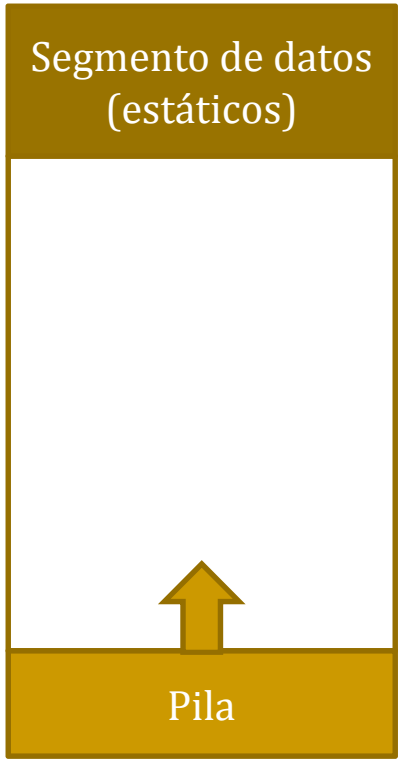




Valores de Retorno de las funciones

Representación de valores de retorno

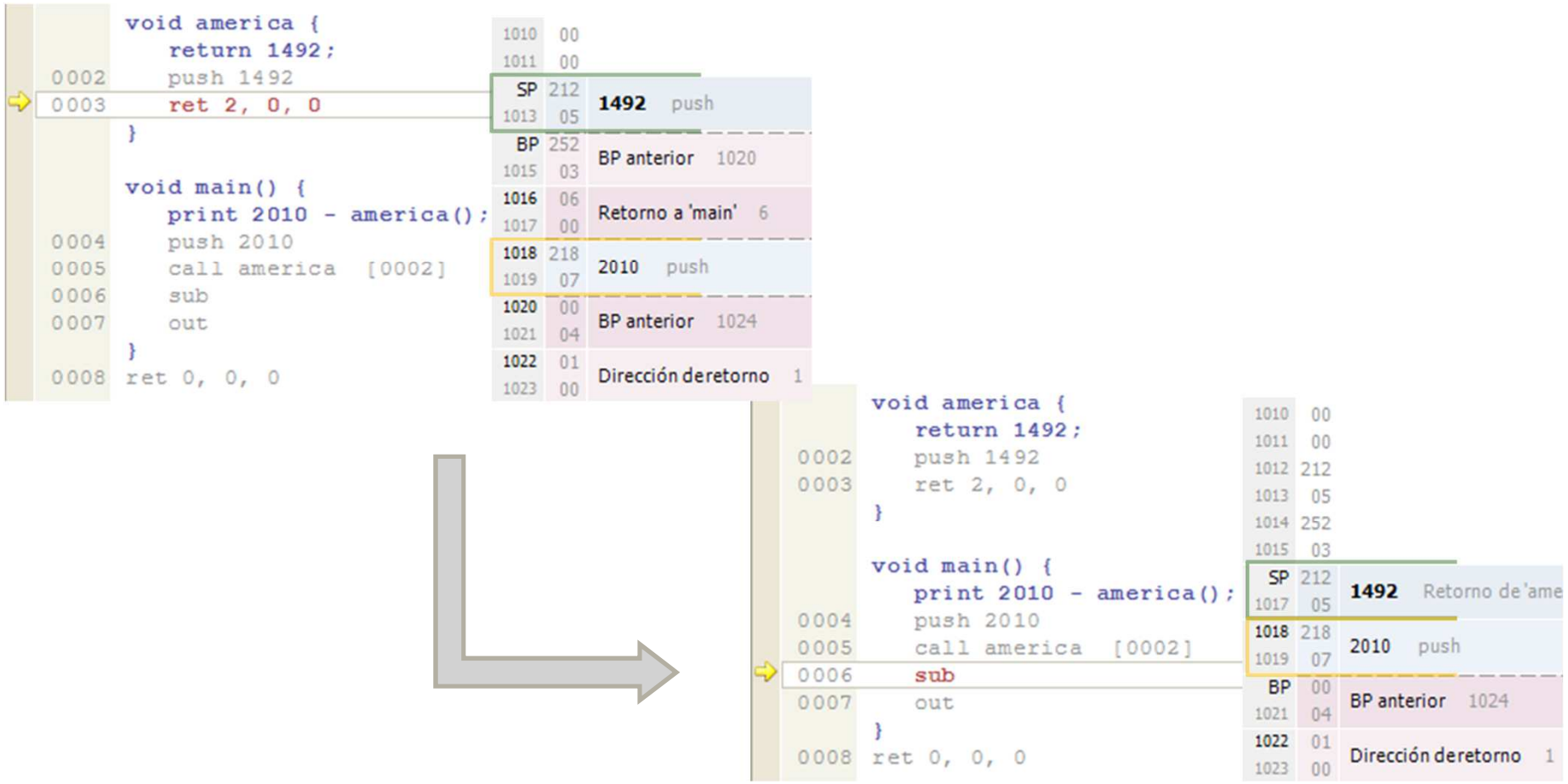
- Lo más habitual
  - Registros
  - Memoria
    - Segmento de Datos
    - Segmento de Pila



Valores de Retorno en la Pila

Valores de retorno en la pila

- Se dejan encima del stack frame
  - ¿Cómo debería quedar la pila al salir de una función?



Instrucción *ret*. Resumen

Formato:

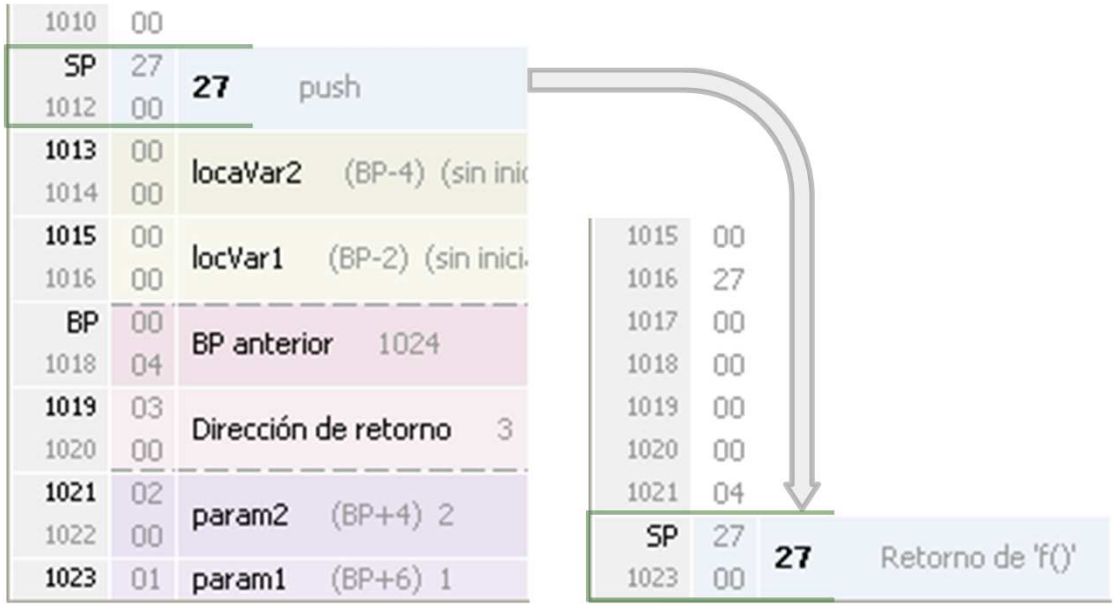
ret <*cte1*>, <*cte2*>, <*cte3*> (*ret* ⇒ *ret* 0, 0, 0)

- cte1 = tamaño del valor de retorno (0 si no hay)
- cte2 = tamaño de las variables locales de la función
- cte3 = tamaño de los parámetros de la función

```
int f(byte param1, int param2)
{
   int locVar1, locVar2;

   return 27;
}
```

Código MAPL generado

```
f:  enter 4
    push 27
    ret 2, 4, 3
```



Pila antes de ret 2, 4, 3

Pila después de ret 2, 4, 3

Ejercicio E2

Mostrar

- Direcciones de todas las variables del programa cuando se esté dentro de la función *ejemplo*
- Escribir el programa equivalente en MAPL

```
int a;
float b;
char c;

int ejemplo(float par1, int par2) {
   int local1;
   float local2;

   b = 3.4;
   par1 = 3.4;
   local2 = 3.4;

   return par2 + a + local1;
}

void main() {
   print a + ejemplo(1.5, 27);
}
```

Representación de Datos por Tipo

Representación de datos por tipo

El tipo de un dato indica CÓMO se representa

- Su tamaño
- Su representación interna

Tipos Simples

En esta fase hay que determinar cómo se representa

- Cada tipo simple del alto nivel
  - char
  - enteros
  - reales
  - boolean

Estructuras

Estructuras

- Determinar
  - Alineamiento
  - Orden de los campos

```
struct S {
        char c1;
        int i1;
        char c2;
        int i2;
}
```

- Influyen en
  - Cálculo del tamaño
  - Direcciones de un campo de una variable

Estructuras. Ejemplo E3

Mostrar

- Direcciones de todas las variables del programa
- Escribir el programa equivalente en MAPL

```
struct Persona {
   float sueldo;
   int edad;
   char inicial;
}

byte a;
struct Persona carlos;
struct Persona javi;

void main()
{
   carlos.edad = 20;
   javi.edad = 20;
}
```

dir [[*s.c*]] = dirección de *s* + desplazamiento de *c*

Vectores (arrays)

Vectores (arrays)

- Determinar
  - Orden de las dimensiones
    - Por filas o por columnas
  - Alineamiento

- Influyen en
  - Cálculo del tamaño
  - Direcciones de cada elemento
    - Para una dimensión

$$dir(v[i]) = dir(v) + (i * tamaño(v[0]))$$

int **v**[3][3];

v	0	1	2	3
0	v[0][0]	v[0][1]	v[0][2]	v[0][3]
1	v[1][0]	v[1][1]	v[1][2]	v[1][3]
2	v[2][0]	v[2][1]	v[2][2]	v[2][3]

v[0][0]
v[0][1]
v[0][2]
v[0][3]
v[1][0]
v[1][1]
v[1][2]
v[1][3]
v[2][0]
v[2][1]
v[2][2]
v[2][3]

v[0][0]
v[1][0]
v[2][0]
v[0][1]
v[1][1]
v[2][1]
v[0][2]
v[1][2]
v[1][2]
v[0][3]
v[1][3]
v[2][3]

Ejemplo E4

Mostrar

- Direcciones de todas las variables del programa
- Escribir el programa equivalente en MAPL

dir(v[i]) = dir(v) + (i * tamaño(v[0]))

```
char b;
int i;
int v[10];

void main()
{
    i = 7;
    v[i] = 1111;
}
```

Paso por Referencia

Paso por Referencia (I). Argumentos

Ejemplo

```
int a = 10;

void f(int param_f) {
   print param_f;
}

void g(ref int param_g) {
   print param_g;
}

void main() {
   f(a);
   g(a);
}
```

```
        void main() {
            f(a);
0018        pusha 0
0019        load
0020        call f   [0005]
            g(a);
0021        pusha 0
0022        call g   [0011]
        }
0023    ret 0, 0, 0
```

Paso por Referencia (II). Parámetros

Ejemplo

```
int a = 10;

void f(int param_f) {
   print param_f;
}

void g(ref int param_g) {
   print param_g;
}

void main() {
   f(a);
   g(a);
}
```

```
                void f(int param_f) {
                   print param_f;
0005               pusha BP
0006               push 4
0007               add
0008               load
0009               out
                }
```

```
                void g(ref int param_g) {
                   print param_g;
0011               pusha BP
0012               push 4
0013               add
0014               load
0015               load
0016               out
                }
```

Tiempo de Ubicación

Ubicación Estática

Hasta ahora hemos determinado para cada dato

- Dónde se ubica
  - Segmento de datos o pila
- Cómo se ubica
  - Estructura interna del dato

Falta el cuándo se ubica el dato en memoria

Hasta ahora se ha hablado de datos estáticos

- ¿Cuándo se ubican éstos en memoria?

```
int v[i+2];
```

¿Qué ocurre si no se sabe hasta tiempo de ejecución?

- Nodos de un AST
  - ¿Cómo se haría?

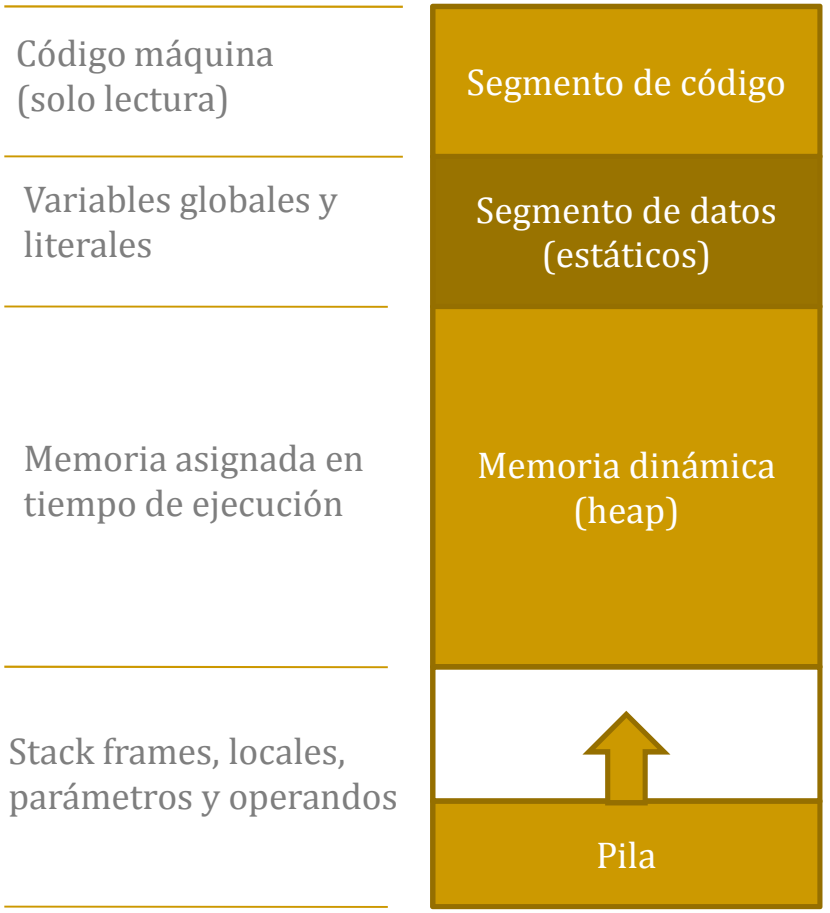
Ubicación Dinámica

Memoria dinámica

- ¿Qué permite un lenguaje con memoria dinámica?
  - Ofrece primitivas de gestión de la memoria
    - Explícitas o implícitas
- ¿Qué tipo de datos requiere?

Implementación

- Ubicación
- Componentes
  - Bloque de memoria
  - Registro de asignaciones



Resumen

Gestión de Memoria

- Qué entra
  - Un AST con un programa válido
- Qué hace
  - Calcula las direcciones de todos los símbolos del programa en función de su ámbito y su tipo
- Qué sale
  - Un AST con:
    - una propiedad *dirección* en las definiciones de variables
    - una propiedad *tamaño* en los tipos

Tarea Obligatoria

Antes de la siguiente clase de *prácticas*:

1) Bajar MAPL del campus
2) Leer "*Manual MAPL.pdf*"
   - Se debería haber hecho ya
3) Seguir todos los ejemplos de la carpeta:
   "*Tutorial\2 Gestión de Memoria*"

OBLIGATORIO

Ejercicio E5

Mostrar

- Direcciones de todas las variables del programa
- Escribir el programa equivalente en MAPL

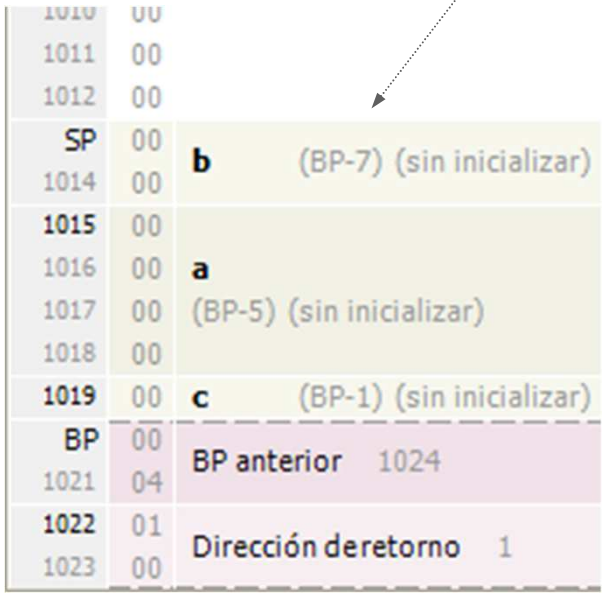
```
struct Circulo {
    x:int;
    y:int;
    radio:real;
}

real v[4];
int i;
Circulo diana;

void main() {
    i = 0;
    diana.y = 7;
    diana.x = diana.y + i;

    v[0] = 1.618033;
    diana.radio = v[i] + 2.0;
    print v[i + 2];
    print v[diana.y - 7];
}
```

Soluciones

Solución E1

```
void main() {
    char c;
    real a;
    int b;

    a = 37;
    read b;
}
```

```
main:
    enter 7

    push BP
    push -5
    add
    pushf 37
    storef

    push BP
    push -7
    add
    in
    store

    ret 0, 7, 0
```



Solución E2

```
      int a;
      float b;
      char c;

      int ejemplo(float par1, int par2) {
         int local1;
         float local2;
0002     enter 6

         b = 3.4;
0003     pusha 2
0004     pushf 3,4
0005     storef
         par1 = 3.4;
0006     pusha BP
0007     push 6
0008     add
0009     pushf 3,4
0010     storef
         local2 = 3.4;
0011     pusha BP
0012     push -6
0013     add
0014     pushf 3,4
0015     storef
         return par2 + a + local1;
0016     pusha BP
0017     push 4
0018     add
0019     load
0020     pusha 0
0021     load
0022     add
0023     pusha BP
0024     push -2
0025     add
0026     load
0027     add
      }
0028  ret 2, 6, 6

      void main() {
         print a + ejemplo(1.5, 27);
0029     pusha 0
0030     load
0031     pushf 1,5
0032     push 27
0033     call ejemplo  [0002]
0034     add
0035     out
      }
0036  ret 0, 0, 0
```

Solución E3

```
        struct Persona {
            float sueldo;
            int edad;
            char inicial;
        }

        byte a;
        struct Persona carlos;
        struct Persona javi;

        void main()
        {
            carlos.edad = 20;
0002        pusha 1
0003        push 4
0004        add
0005        push 20
0006        store
            javi.edad = 20;
0007        pusha 8
0008        push 4
0009        add
0010        push 20
0011        store
        }
0012    ret 0, 0, 0
```

Memoria Estática		
00	00	a (sin inicializar)
01	00	
02	00	carlos.sueldo
03	00	(sin inicializar)
04	00	
05	00	carlos.edad (sin inicializar)
06	00	
07	00	carlos.inicial (sin inicializar)
08	00	
09	00	javi.sueldo
10	00	(sin inicializar)
11	00	
12	00	javi.edad (sin inicializar)
13	00	
14	00	javi.inicial (sin inicializar)
15	00	
16	00	
17	00	

1013	00	
1014	00	
1015	00	
SP	20	**20** push
1017	00	
1018	05	5 &carlos.edad 1 + 4
1019	00	
BP	00	BP anterior 1024
1021	04	
1022	01	Dirección deretorno 1
1023	00	

Solución E4

```
        char b;
        int i;
        int v[10];

        void main()
        {
            i = 7;
0002        pusha 1
0003        push 7
0004        store
            v[i] = 1111;
0005        pusha 3
0006        pusha 1
0007        load
0008        push 2
0009        mul
0010        add
0011        push 1111
0012        store
        }
0013    ret 0, 0, 0
```

Memoria Estática			
00	00	b	(sin inicializar)
01 02	07 00	i	7
03 04	00 00	v[0]	(sin inicializar)
05 06	00 00	v[1]	(sin inicializar)
07 08	00 00	v[2]	(sin inicializar)
09 10	00 00	v[3]	(sin inicializar)
11 12	00 00	v[4]	(sin inicializar)
13 14	00 00	v[5]	(sin inicializar)
15 16	00 00	v[6]	(sin inicializar)
17 18	00 00	v[7]	(sin inicializar)
19 20	00 00	v[8]	(sin inicializar)
21 22	00 00	v[9]	(sin inicializar)
23 24	00 00		

1013	00	
1014	02	
1015	00	
SP 1017	87 04	**1111** push
1018 1019	17 00	17 &v[7] 3 + i * 2
BP 1021	00 04	BP anterior 1024
1022 1023	01 00	Dirección de retorno 1

Solución E5

Memoria Estática		
00	00	
01	00	v[0]
02	00	(sin inicializar)
03	00	
04	00	
05	00	v[1]
06	00	(sin inicializar)
07	00	
08	00	
09	00	v[2]
10	00	(sin inicializar)
11	00	
12	00	
13	00	v[3]
14	00	(sin inicializar)
15	00	
16	00	i (sin inicializar)
17	00	
18	00	diana.x (sin inicializar)
19	00	
20	00	diana.y (sin inicializar)
21	00	
22	00	
23	00	diana.radio
24	00	(sin inicializar)
25	00	
26	00	
27	00	
28	00	

```
      struct Circulo  {
         x:int;
         y:int;
         radio:real;
      }

      real v[4];
      int i;
      Circulo diana;

      main() {
         i = 0;
0002     pusha 16
0003     push 0
0004     store
         diana.y = 7;
0005     pusha 18
0006     push 2
0007     add
0008     push 7
0009     store
         diana.x = diana.y + i;
0010     pusha 18
0011     push 0
0012     add
0013     pusha 18
0014     push 2
0015     add
0016     load
0017     pusha 16
0018     load
0019     add
0020     store

         v[0] = 1.618033;
0021     pusha 0
0022     push 0
0023     push 4
0024     mul
0025     add
0026     pushf 1,618033
0027     storef
         diana.radio = v[i] + 2.0;
0028     pusha 18
0029     push 4
0030     add
0031     pusha 0
0032     pusha 16
0033     load
0034     push 4
0035     mul
0036     add
0037     loadf
0038     pushf 2
0039     addf
0040     storef
         print v[i + 2];
0041     pusha 0
0042     pusha 16
0043     load
0044     push 2
0045     add
0046     push 4
0047     mul
0048     add
0049     loadf
0050     outf
         print v[diana.y - 7];
0051     pusha 0
0052     pusha 18
0053     push 2
0054     add
0055     load
0056     push 7
0057     sub
0058     push 4
0059     mul
0060     add
0061     loadf
0062     outf
      }
0063  ret 0, 0, 0
```