Tema 2.7. Subprogramas. Traducción

Pedro Javier Rodríguez Rodrigo, Víctor Cuadrado Juan

7 de mayo de 2014

Organización de la memoria

- Es posible acceder a los datos globales

Organización de la memoria

- Es posible acceder a los datos globales
- Desde cualquier registro de activación es necesario referir al registro de activación asociado con el bloque padre (que no tiene porque ser necesariamente el registro de activación anterior)

Organización de la memoria

- Es posible acceder a los datos globales
- Desde cualquier registro de activación es necesario referir al registro de activación asociado con el bloque padre (que no tiene porque ser necesariamente el registro de activación anterior)
- Dos Posibles organizaciones:

Organización de la memoria

- Es posible acceder a los datos globales
- Desde cualquier registro de activación es necesario referir al registro de activación asociado con el bloque padre (que no tiene porque ser necesariamente el registro de activación anterior)
- Dos Posibles organizaciones:
  1. Enlaces estáticos

Organización de la memoria

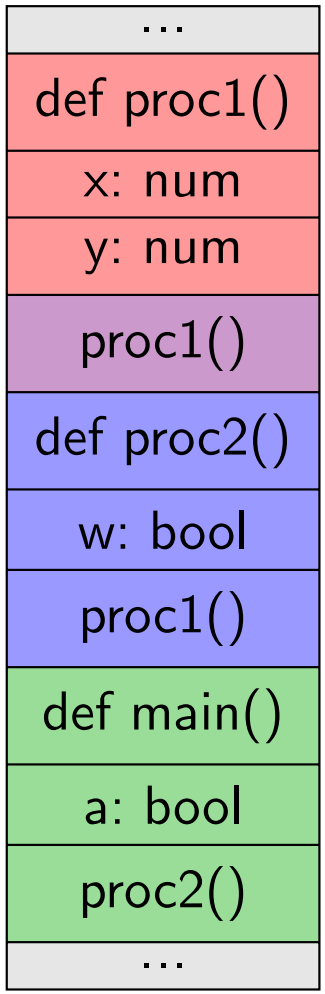
- Es posible acceder a los datos globales
- Desde cualquier registro de activación es necesario referir al registro de activación asociado con el bloque padre (que no tiene porque ser necesariamente el registro de activación anterior)
- Dos Posibles organizaciones:
  1. Enlaces estáticos
  2. Displays

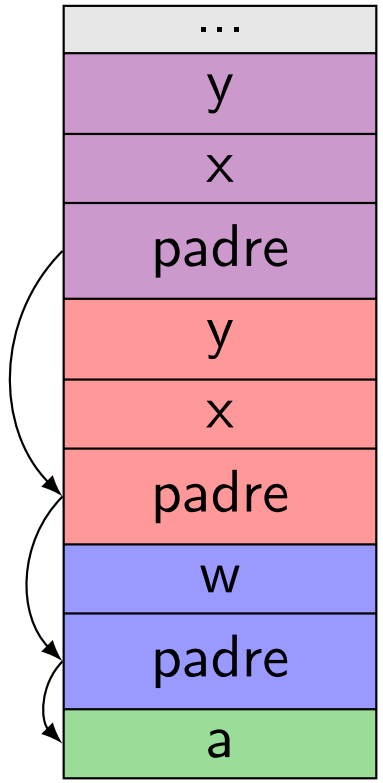
Enlaces estáticos

- En el registro de activación se incluye un enlace al registro de activación del bloque padre (enlace estático)
- La memoria se organiza en forma de pila de registros de activación, enlazados a través de los enlaces estáticos

Enlaces estáticos: Ejemplo

```
proc proc1(){
    x: num;
    y: num;
    proc1();
}
proc proc2(){
    w: bool;
    proc1();
}
main(){
    a: bool;
    proc2();
}
```





Enlaces estáticos: Problemas

¿Qué problemas hay?

Enlaces estáticos: Problemas

¿Qué problemas hay?

1. La recuperación del enlace de un identificador global supone seguir toda la cadena de enlaces estáticos. Si el identificador ha sido declarado k niveles por encima, es necesario realizar k indirecciones hasta llegar al correspondiente registro de activación

Enlaces estáticos: Problemas

¿Qué problemas hay?

1. La recuperación del enlace de un identificador global supone seguir toda la cadena de enlaces estáticos. Si el identificador ha sido declarado k niveles por encima, es necesario realizar k indirecciones hasta llegar al correspondiente registro de activación
2. Hay que considerar la complejidad de generar código que gestione de manera adecuada los enlaces estáticos

Enlaces estáticos: Problemas

¿Qué problemas hay?

1. La recuperación del enlace de un identificador global supone seguir toda la cadena de enlaces estáticos. Si el identificador ha sido declarado k niveles por encima, es necesario realizar k indirecciones hasta llegar al correspondiente registro de activación
2. Hay que considerar la complejidad de generar código que gestione de manera adecuada los enlaces estáticos

Solución:
Almacenar los enlaces estáticos *fuera* de los registros de activación.
La estructura que los almacena se llama **display**.

Display

- Secuencia de celdas consecutivas que apuntan a registros de activación

Display

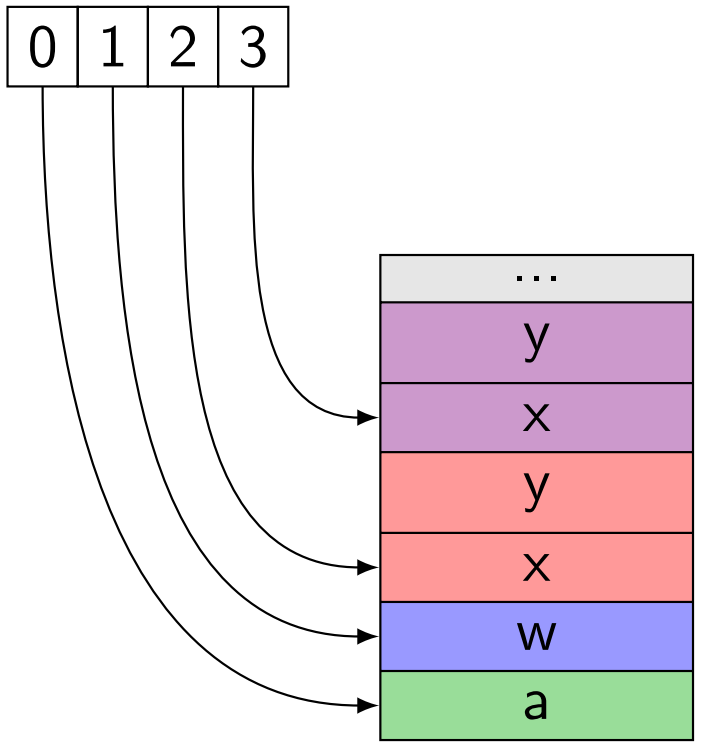
- Secuencia de celdas consecutivas que apuntan a registros de activación
- La celda *i* apunta al registro de activación que está siendo utilizado en el nivel de anidamiento *i*

Display

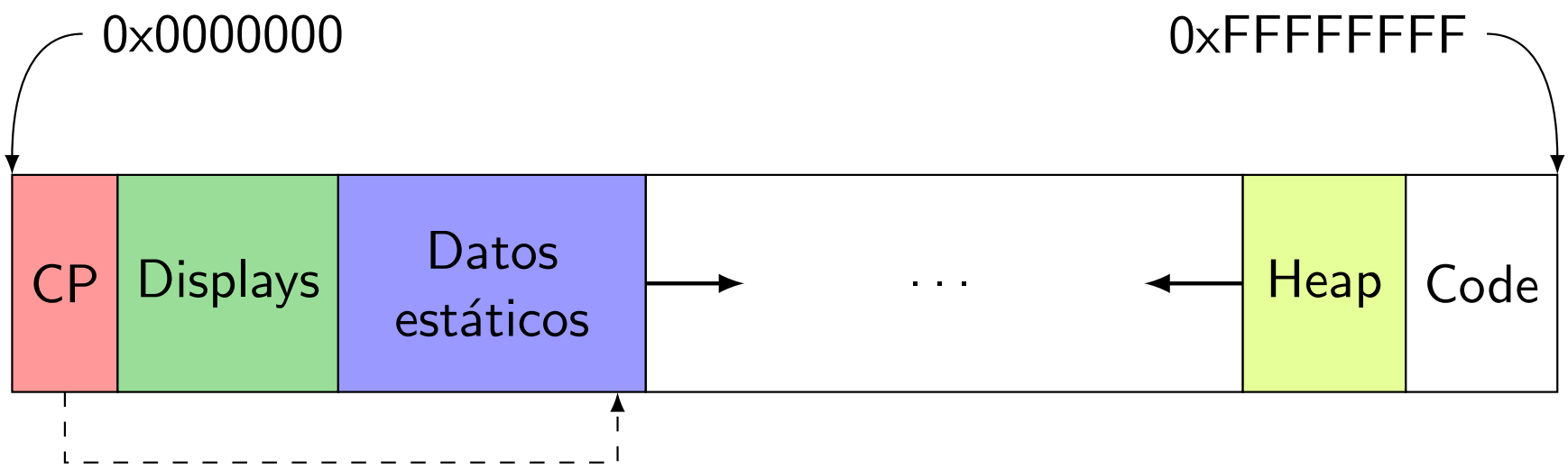
- Secuencia de celdas consecutivas que apuntan a registros de activación
- La celda *i* apunta al registro de activación que está siendo utilizado en el nivel de anidamiento *i*
- Esta estructura facilita el acceso a los datos globales:
  el enlace para un identificador declarado en un bloque que se encuentra a profunidad *i* estará en el registro de activación referido por la celda *i* del display (el *display i* a partir de ahora)

Display: Ejemplo

```
proc proc1(){
    x: num;
    y: num;
    proc1();
}
proc proc2(){
    w: bool;
    proc1();
}
main(){
    a: bool;
    proc2();
}
```



Memoria de un programa I



Memoria de un programa II

Las primeras celdas de la memoria se destinarán a mantener la información de estado necesaria para gestionar adecuadamente la pila de registros de activación:

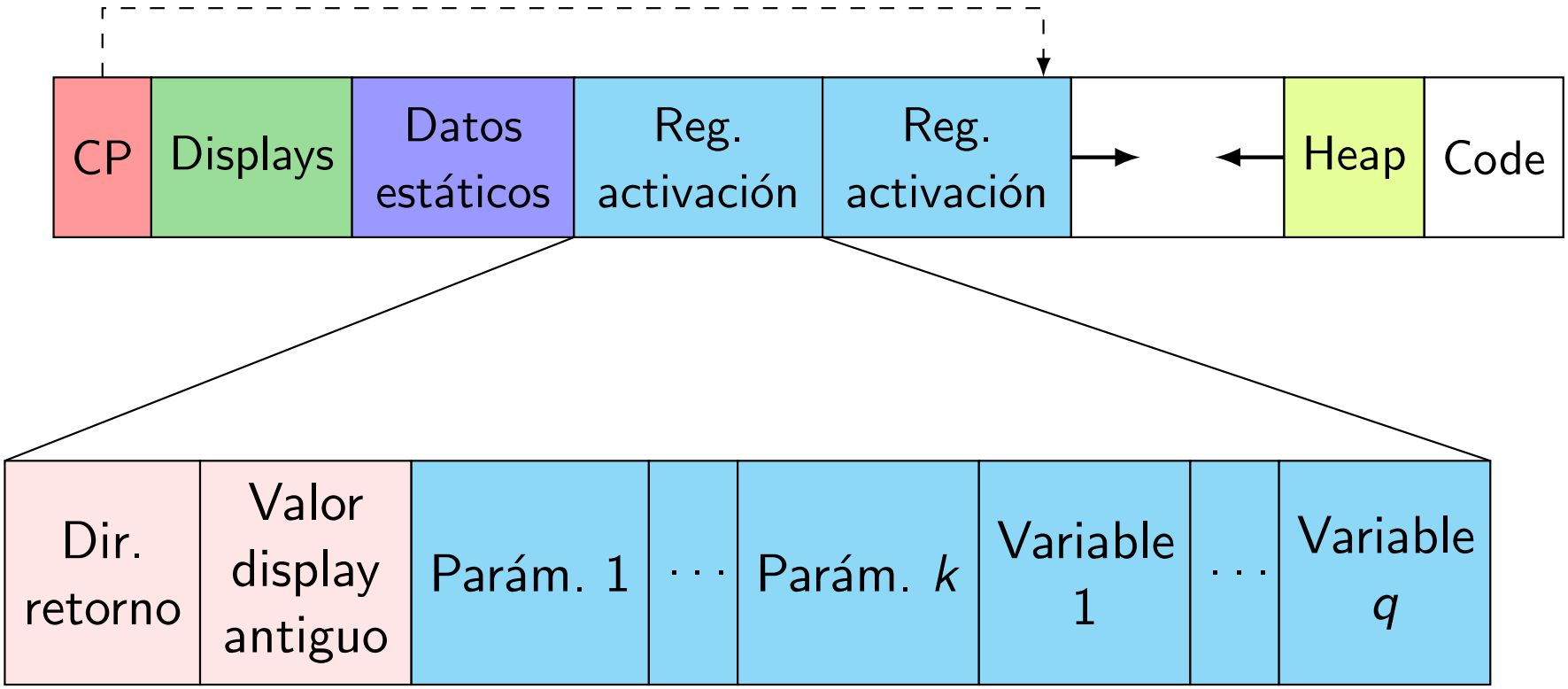
- Registro *CP*: Contendrá siempre la dirección de la **última celda ocupada** por la pila de registros de activación (cuando la pila esté vacía, el valor de *CP* será la dirección de la celda anterior -la última celda ocupada por el display-)

Memoria de un programa II

Las primeras celdas de la memoria se destinarán a mantener la información de estado necesaria para gestionar adecuadamente la pila de registros de activación:

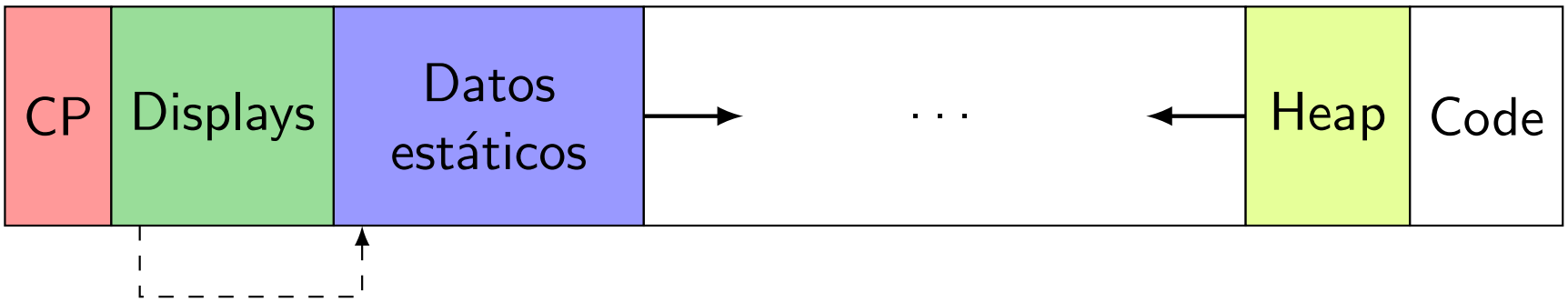
- Registro *CP*: Contendrá siempre la dirección de la **última celda ocupada** por la pila de registros de activación (cuando la pila esté vacía, el valor de *CP* será la dirección de la celda anterior -la última celda ocupada por el display-)
- *Display*: Secuencia de celdas ocupadas por los displays.

Estructura de los Registros de activación



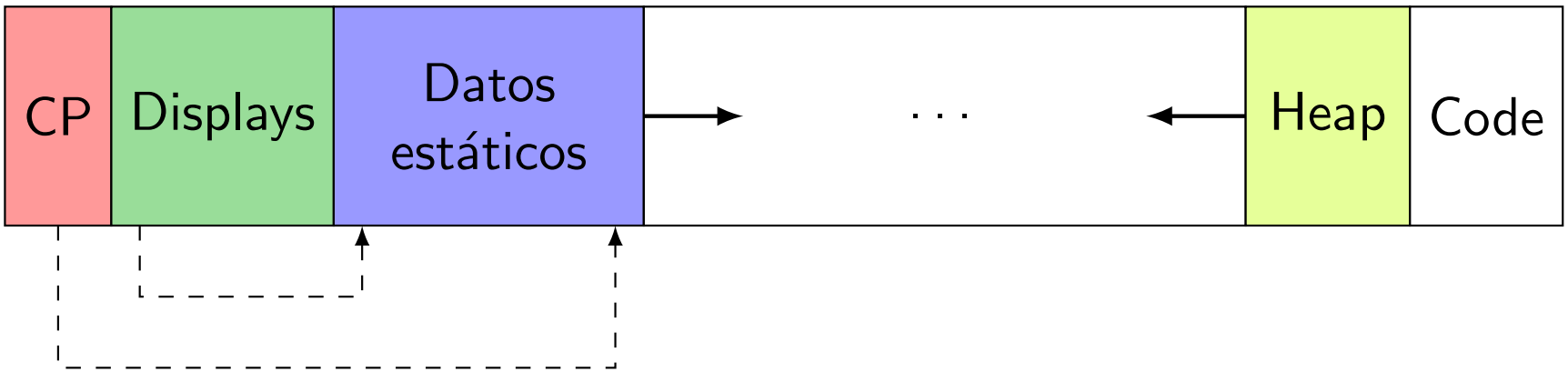
Inicio

- Se fija el *display 0* a la primera celda de datos estáticos



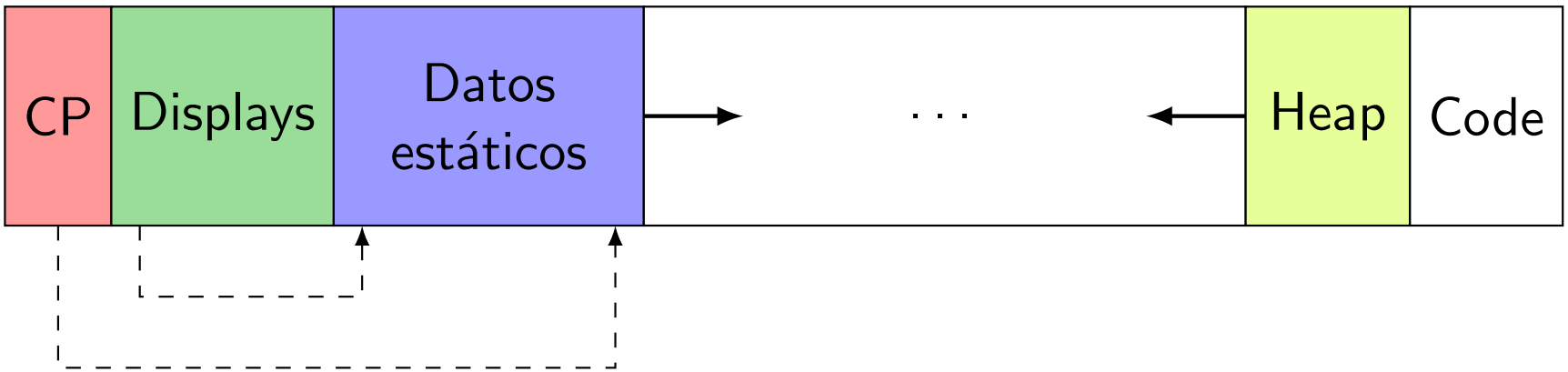
Inicio

- Se fija el *display 0* a la primera celda de datos estáticos
- Se fija el *CP* a la posición de la última celda ocupada por los datos estáticos.



Inicio

- Se fija el *display 0* a la primera celda de datos estáticos
- Se fija el *CP* a la posición de la última celda ocupada por los datos estáticos.
- Con ello se consigue un esquema homogéneo de direccionamiento de datos estáticos y de datos en los registros de activación



Inicio

```
1  fun inicio(numNiveles,tamDatos) devuelve
2     // fijamos display 0 a la 1a celda de datos estaticos:
3     apila(numNiveles+2)              ||// +2: CP, display 0
4     desapila-dir(1)                  ||
5     // fijamos CP a la ultima celda de datos estaticos:
6     apila(1+numNiveles+tamDatos)  ||// +1: display 0
7     desapila-dir(0)
8  ffun
9  cons longInicio = 4
```

Ejemplo: inicio(2,5)

Dibujo del movimiento del cp

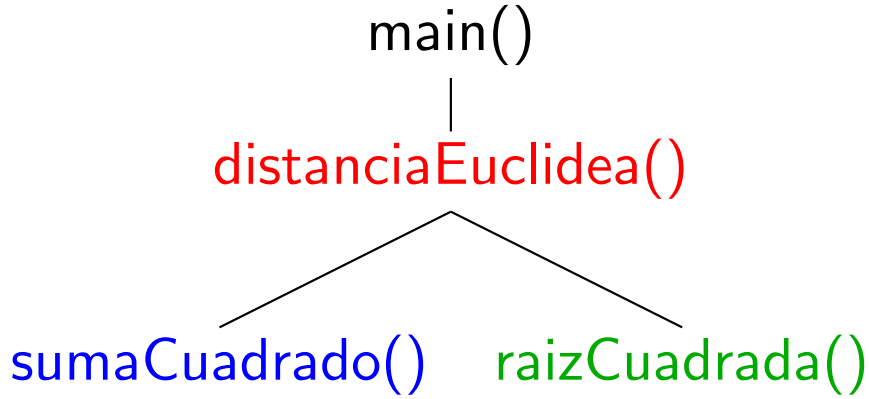
Ejemplo de invocación

```
tipo tpar= rec x:num; y:num;
proc distanciaEuclidea(p1:tpar, p2:tpar, var res
      :num)
    a: num; b: num;
    proc sumacuadrado(a:num, b:num, var r:num)
            a:=a*a;
        b:=b*b
        r:=a+b;
    proc raizcuadrada(var n:num)
        ...
    &
    a:=p1.x-p2.x;
    b:=p1.y-p2.y;
    sumacuadrado(a, b, res);
    raizcuadrada(res);
par1:tpar; par2:tpar; resultado:num;
&
par1.x:=1; par1.y:=5;
par2.x:=8; par2.y:=12;
distanciaEuclidea(par1,par2,resultado);
```

¿Cual es el máximo nivel de anidamiento para éste programa?

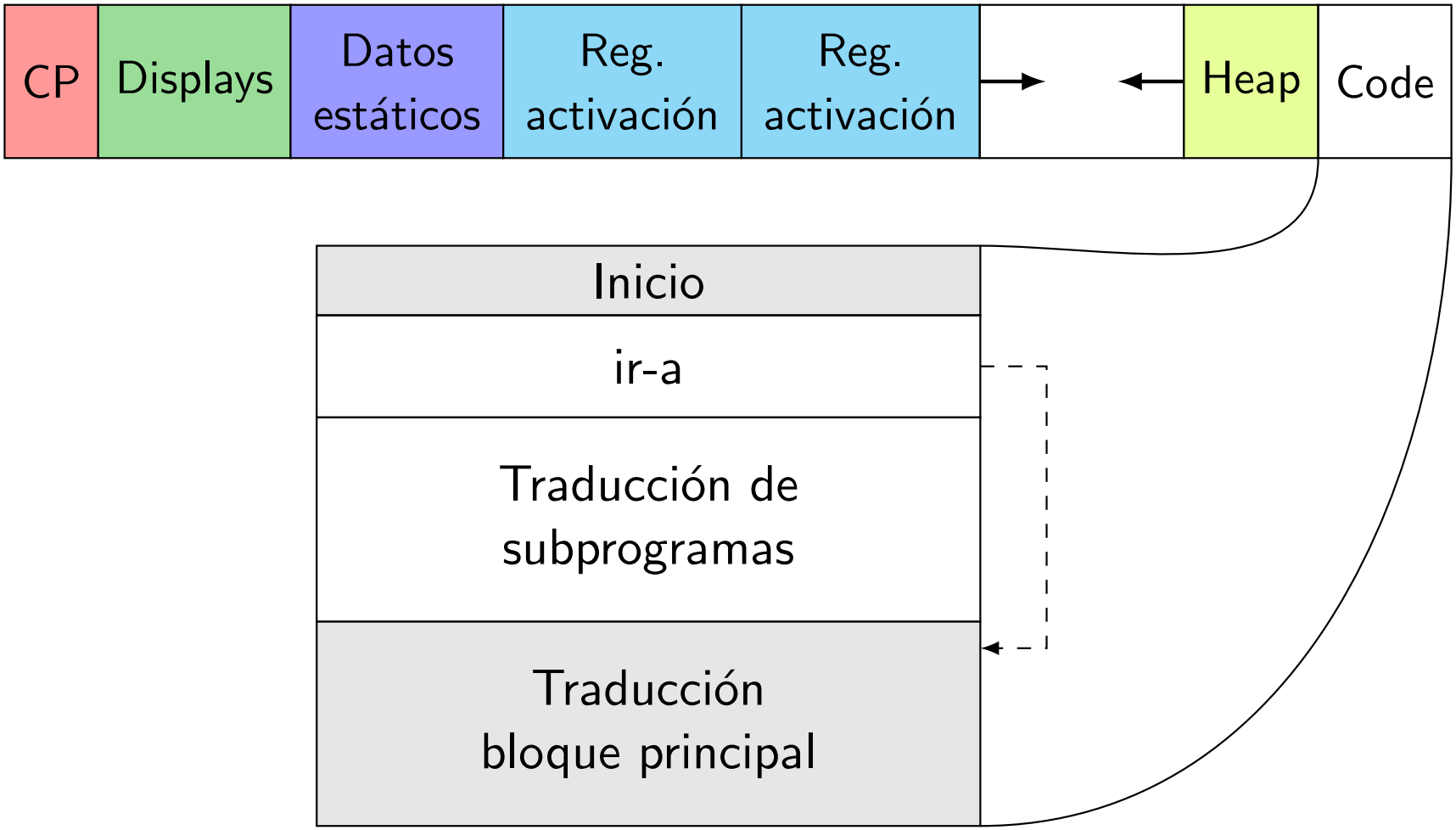
Ejemplo de invocación

```
tipo tpar= rec x:num; y:num;
proc distanciaEuclidea(p1:tpar, p2:tpar, var res
      :num)
    a: num; b: num;
    proc sumacuadrado(a:num, b:num, var r:num)
            a:=a*a;
        b:=b*b
        r:=a+b;
    proc raizcuadrada(var n:num)
        ...
    &
    a:=p1.x-p2.x;
    b:=p1.y-p2.y;
    sumacuadrado(a, b, res);
    raizcuadrada(res);
par1:tpar; par2:tpar; resultado:num;
&
par1.x:=1; par1.y:=5;
par2.x:=8; par2.y:=12;
distanciaEuclidea(par1,par2,resultado);
```

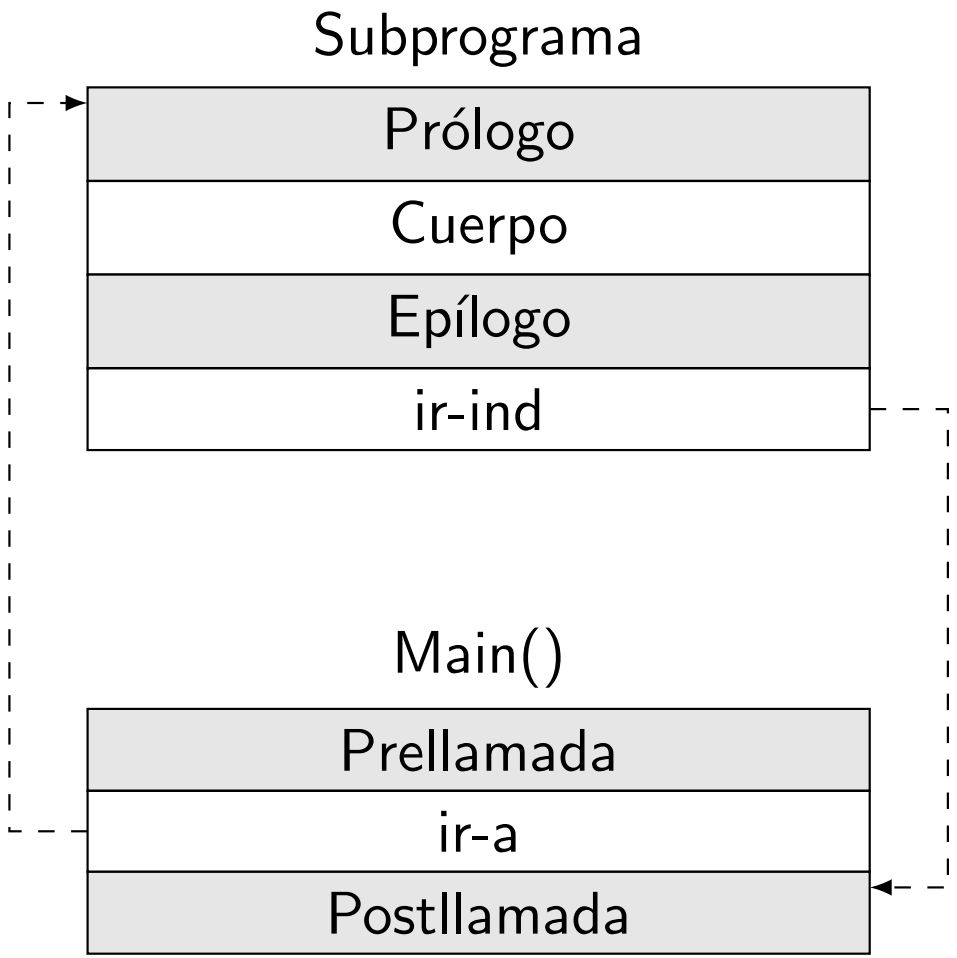


¿Cual es el máximo nivel de anidamiento para éste programa? 2

Esquema de la traducción



Manejo de la activación y desactivación I



ir-ind salta a la dirección indicada en la cima de la pila de evaluación, consumiendo dicha cima.

PC $\leftarrow$ Pila[cima]

cima $\leftarrow$ cima - 1

Manejo de la activación y desactivación II

orden de la ejecución del código generado

Prellamada

Asociada con la invocación $p(e_1, ..., e_k)$:

1. Guardar en memoria la direccion de retorno

dibujo de lo que aparece al hacer los pasos

Prellamada

Asociada con la invocación $p(e_1, ..., e_k)$:

1. Guardar en memoria la direccion de retorno
2. Evaluar y almacenar parámetros de ejecución del procedimiento

dibujo de lo que aparece al hacer los pasos

Prellamada

Asociada con la invocación $p(e_1, ..., e_k)$:

1. Guardar en memoria la direccion de retorno
2. Evaluar y almacenar parámetros de ejecución del procedimiento
3. Saltar a la dirección de inicio del procedimiento

dibujo de lo que aparece al hacer los pasos

Prellamada: Ejemplo

```
1  fun apila-ret(ret) devuelve
2     // calcular CP+1:
3     apila-dir(0)              ||
4     apila(1)                  ||
5     suma                      ||
6     // guardar dir retorno:
7     apila(ret)                ||
8     desapila-ind              ||
9  ffun
10 cons longApilaRet = 5
```

Ejemplo: apila-ret(0x527) , siendo 0x527 el nº de instrucción.
Dibujo

Prólogo I

Asociado con el prodecimiento *proc* $p(...)$:

1. Guardar el antiguo valor del display

dibujo de lo que aparece al hacer los pasos

Prólogo I

Asociado con el prodecimiento *proc* $p(...)$:

1. Guardar el antiguo valor del display
2. Actualizar el valor nuevo del display

dibujo de lo que aparece al hacer los pasos

Prólogo I

Asociado con el prodecimiento *proc* $p(...)$:

1. Guardar el antiguo valor del display
2. Actualizar el valor nuevo del display
3. Reservar espacio para las variables locales

dibujo de lo que aparece al hacer los pasos

Prólogo II

```
1  fun prologo(nivel,tamlocales) devuelve
2     // salvar display antiguo:
3     apila-dir(0)           ||
4     apila(2)               ||
5     suma                   ||
6     apila-dir(1+nivel)     ||
7     desapila-ind           ||
8     // fijar el display actual:
9     apila-dir(0)           ||
10    apila(3)               ||
11    suma                   ||
12    desapila-dir(1+nivel)  ||
13    // reservar espacio para datos locales:
14    apila-dir(0)           ||
15    apila(tamlocales+2)    ||
16    suma                   ||
17    desapila-dir(0)
18 ffun
19 cons longPrologo = 13
```

Prólogo: Ejemplo I

```
1   fun prologo(nivel,tamlocales) devuelve
2      // salvar display antiguo:
3      apila-dir(0)           ||
4      apila(2)               || // dir. retorno, antiguo display
5      suma                   ||
6      apila-dir(1+nivel)     || // +1: saltar al display 0
7      desapila-ind           ||
8      // fijar el display actual:
9      apila-dir(0)           ||
10     apila(3)               ||
11     suma                   ||
12     desapila-dir(1+nivel)  ||
13     // reservar espacio para datos locales:
14     apila-dir(0)           ||
15     apila(tamlocales+2)    ||
16     suma                   ||
17     desapila-dir(0)
18  ffun
```

Ejemplo: prologo(1,7)

Dibujo

Prólogo: Ejemplo II

```
1   fun prologo(nivel,tamlocales) devuelve
2      // salvar display antiguo:
3      apila-dir(0)           ||
4      apila(2)               ||
5      suma                   ||
6      apila-dir(1+nivel)     ||
7      desapila-ind           ||
8      // fijar el display actual:
9      apila-dir(0)           ||
10     apila(3)               ||
11     suma                   ||
12     desapila-dir(1+nivel)  ||
13     // reservar espacio para datos locales:
14     apila-dir(0)           ||
15     apila(tamlocales+2)    ||
16     suma                   ||
17     desapila-dir(0)
18  ffun
```

Ejemplo: prologo(1,7)

Dibujo

Prólogo: Ejemplo III

```
1   fun prologo(nivel,tamlocales) devuelve
2      // salvar display antiguo:
3      apila-dir(0)           ||
4      apila(2)               ||
5      suma                   ||
6      apila-dir(1+nivel)     ||
7      desapila-ind           ||
8      // fijar el display actual:
9      apila-dir(0)           ||
10     apila(3)               ||
11     suma                   ||
12     desapila-dir(1+nivel)  ||
13     // reservar espacio para datos locales:
14     apila-dir(0)           || // Mem[1+nivel] = Pila[Cima]
15     apila(tamlocales+2)    || // +2: dir. retorno, antiguo display
16     suma                   ||
17     desapila-dir(0)
18  ffun
```

Ejemplo: prologo(1,7)

Dibujo

Epílogo I

Asociado con el prodecimiento *proc* *p*(...):

- Almacenar el valor devuelto por la función (en nuestro caso no se hace, no tenemos funciones)

dibujo de lo que aparece al hacer los pasos

Epílogo I

Asociado con el prodecimiento *proc* *p*(...):

- Almacenar el valor devuelto por la función (en nuestro caso no se hace, no tenemos funciones)

1. Liberar el espacio utilizado por las variables locales (mover hacia atrás el CP)

dibujo de lo que aparece al hacer los pasos

Epílogo I

Asociado con el prodecimiento *proc* *p*(...):

- Almacenar el valor devuelto por la función (en nuestro caso no se hace, no tenemos funciones)

1. Liberar el espacio utilizado por las variables locales (mover hacia atrás el CP)
2. Restaurar el antiguo display

dibujo de lo que aparece al hacer los pasos

Epílogo I

Asociado con el prodecimiento *proc* *p*(...):

- Almacenar el valor devuelto por la función (en nuestro caso no se hace, no tenemos funciones)

1. Liberar el espacio utilizado por las variables locales (mover hacia atrás el CP)
2. Restaurar el antiguo display
3. Apilar la dirección de retorno y saltar usando *ir-ind*

dibujo de lo que aparece al hacer los pasos

Epílogo II

```
1   fun epilogo(nivel) devuelve
2      // apilar la dir. retorno:
3      apila-dir(1+nivel)     ||
4      apila(2)               ||
5      resta                  ||
6      apila-ind              ||
7      // liberar espacio (mover CP):
8      apila-dir(1+nivel)     ||
9      apila(3)               ||
10     resta                  ||
11     copia                  ||
12     desapila-dir(0)        ||
13     // recupear antiguo display:
14     apila(2)               ||
15     suma                   ||
16     apila-ind              ||
17     desapila-dir(1+nivel)
18  ffun
19  cons longEpilogo = 13
```

Epílogo: Ejemplo I

```
1   fun epilogo(nivel) devuelve
2      // apilar la dir. retorno:
3      apila-dir(1+nivel)    ||
4      apila(2)              ||
5      resta                 ||
6      apila-ind             ||
7      // liberar espacio (mover CP):
8      apila-dir(1+nivel)    ||
9      apila(3)              ||
10     resta                 ||
11     copia                 ||
12     desapila-dir(0)       ||
13     // recupear antiguo display:
14     apila(2)              ||
15     suma                  ||
16     apila-ind             ||
17     desapila-dir(1+nivel)
18  ffun
```

Ejemplo: epilogo(1)

Dibujo

Epílogo: Ejemplo II

```
1   fun epilogo(nivel) devuelve
2      // apilar la dir. retorno:
3      apila-dir(1+nivel)    ||
4      apila(2)              ||
5      resta                 ||
6      apila-ind             ||
7      // liberar espacio (mover CP):
8      apila-dir(1+nivel)    ||
9      apila(3)              ||
10     resta                 ||
11     copia                 || // si no se usa copia, hay que mover CP lo ultimo
12     desapila-dir(0)       ||
13     // recupear antiguo display:
14     apila(2)              ||
15     suma                  ||
16     apila-ind             ||
17     desapila-dir(1+nivel)
18  ffun
```

Ejemplo: epilogo(1)

¿Es la mejor forma de implementar el epílogo, con mover el CP en 2º lugar?

Dibujo

Epílogo: Ejemplo III

```
1   fun epilogo(nivel) devuelve
2      // apilar la dir. retorno:
3      apila-dir(1+nivel)    ||
4      apila(2)              ||
5      resta                 ||
6      apila-ind             ||
7      // liberar espacio (mover CP):
8      apila-dir(1+nivel)    ||
9      apila(3)              ||
10     resta                 ||
11     copia                 ||
12     desapila-dir(0)       ||
13     // recupear antiguo display:
14     apila(2)               ||
15     suma                   ||
16     apila-ind              ||
17     desapila-dir(1+nivel)
18  ffun
```

Ejemplo: epilogo(1)

Dibujo

Postllamada

- No es necesaria en nuestra implementación, ya que el epílogo recupera el estado anterior a la invocación

dibujo de la cima de la pila
dibujo de la memoria

Postllamada

- No es necesaria en nuestra implementación, ya que el epílogo recupera el estado anterior a la invocación
- Hemos terminado con la dirección (indirecta) de retorno en la cima de la pila

dibujo de la cima de la pila
dibujo de la memoria

Postllamada

- No es necesaria en nuestra implementación, ya que el epílogo recupera el estado anterior a la invocación
- Hemos terminado con la dirección (indirecta) de retorno en la cima de la pila

En otras arquitecturas:

dibujo de la cima de la pila
dibujo de la memoria

Postllamada

- No es necesaria en nuestra implementación, ya que el epílogo recupera el estado anterior a la invocación
- Hemos terminado con la dirección (indirecta) de retorno en la cima de la pila

En otras arquitecturas:

- Soportan funciones con retorno de valor: copiar el valor devuelto por la función donde sea necesario

dibujo de la cima de la pila
dibujo de la memoria

Postllamada

- No es necesaria en nuestra implementación, ya que el epílogo recupera el estado anterior a la invocación
- Hemos terminado con la dirección (indirecta) de retorno en la cima de la pila

En otras arquitecturas:

- Soportan funciones con retorno de valor: copiar el valor devuelto por la función donde sea necesario
- $x86, x86\_64, ARM$ . . . : restaurar el estado (registros, diferentes punteros). . .

dibujo de la cima de la pila
dibujo de la memoria

Resumen

repetir dibujo del manejo de la activacion y la desactivacion

Paso de parámetros

- Las posiciones de los parámetros en el reg. de activación son relativas al *CP*

dibujo del registro de activación con CP +3 y CP+4

Paso de parámetros

- Las posiciones de los parámetros en el reg. de activación son relativas al *CP*
- Durante la prellamada, el *CP* apunta a la celda anterior a la primera del reg. de activación

dibujo del registro de activación con CP +3 y CP+4

Paso de parámetros

- Las posiciones de los parámetros en el reg. de activación son relativas al *CP*
- Durante la prellamada, el *CP* apunta a la celda anterior a la primera del reg. de activación
- Por lo tanto, los parámetros y variables locales empezarán a partir de $CP + 3$

dibujo del registro de activación con CP +3 y CP+4

Paso de parámetros

- Las posiciones de los parámetros en el reg. de activación son relativas al *CP*
- Durante la prellamada, el *CP* apunta a la celda anterior a la primera del reg. de activación
- Por lo tanto, los parámetros y variables locales empezarán a partir de $CP + 3$
- Sus direcciones deben precalcularse en ejecución (antes de ejecutar el método) y guardarse en la TS

dibujo del registro de activación con CP +3 y CP+4

Paso de parámetros

- Las posiciones de los parámetros en el reg. de activación son relativas al *CP*
- Durante la prellamada, el *CP* apunta a la celda anterior a la primera del reg. de activación
- Por lo tanto, los parámetros y variables locales empezarán a partir de $CP + 3$
- Sus direcciones deben precalcularse en ejecución (antes de ejecutar el método) y guardarse en la TS

¿Por qué deben precalcularse en ejecución?

dibujo del registro de activación con CP +3 y CP+4

Paso de parámetros

- Las posiciones de los parámetros en el reg. de activación son relativas al *CP*
- Durante la prellamada, el *CP* apunta a la celda anterior a la primera del reg. de activación
- Por lo tanto, los parámetros y variables locales empezarán a partir de $CP + 3$
- Sus direcciones deben precalcularse en ejecución (antes de ejecutar el método) y guardarse en la TS

¿Por qué deben precalcularse en ejecución? Por que el *CP* se va moviendo y dejan de ser accesibles
dibujo del registro de activación con CP +3 y CP+4

Paso de parámetros por valor

Dos formas:

1. modo **var**: proc1(**x**);

Paso de parámetros por valor

Dos formas:

1. modo **var**: proc1(**x**);
2. modo **val**: proc1(**3**); ó proc1(**x+1**); ó proc1(**3+4**);
   Es decir, si pasa por la pila de evaluación, es de tipo **val**

Paso de parámetros por valor

Dos formas:

1. modo **var**: proc1(**x**);
2. modo **val**: proc1(**3**); ó proc1(**x+1**); ó proc1(**3+4**);
   Es decir, si pasa por la pila de evaluación, es de tipo **val**

¿Que se hace en nuestra arquitectura?

Paso de parámetros por valor

Dos formas:

1. modo **var**: proc1(**x**);
2. modo **val**: proc1(**3**); ó proc1(**x+1**); ó proc1(**3+4**);
   Es decir, si pasa por la pila de evaluación, es de tipo **val**

¿Que se hace en nuestra arquitectura?

1. modo **var**: se copia el valor en el registro de activación (instrucción mueve)

Paso de parámetros por valor

Dos formas:

1. modo **var**: proc1(**x**);
2. modo **val**: proc1(**3**); ó proc1(**x+1**); ó proc1(**3+4**);
   Es decir, si pasa por la pila de evaluación, es de tipo **val**

¿Que se hace en nuestra arquitectura?

1. modo **var**: se copia el valor en el registro de activación (instrucción mueve)
2. modo **val**: la cima de la pila de evaluación contendrá el valor de la expresión. Debemos desapilar el valor en el registro de activación