UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA
BARCELONATECH
Escola Politècnica Superior d'Enginyeria
de Vilanova i la Geltrú

PUBLICACIÓ DOCENT

MANUAL DE LABORATORI D'ESIN

AUTOR: Bernardino Casas
ASSIGNATURA: Estructura de la Informació (ESIN)
CURS: Q3
TITULACIONS: Grau en Informàtica
DEPARTAMENT: Ciències de la Computació
ANY: 2018/2019

Vilanova i la Geltrú, 18 d'octubre de 2018

Índex curt

Índex

Índex de figures

A

Punters, pas de paràmetres i taules

A.1 Punters

En temps d'execució, la declaració d'una variable de cert tipus implica la reserva d'un espai de memòria per valors d'aquest tipus. Aquesta reserva de memòria comença en una direcció de memòria concreta.

Tenint en compte això:

- L'operador `&` sobre una variable retorna la direcció on comença l'espai reservat per aquesta variable.
- La direcció d'una variable és del tipus associat `T*`. A una variable del tipus `T*` se l'anomena tipus punter a `T` i pot contenir direccions de variables del tipus `T`.
- L'operador `*` aplicat a un punter permet accedir a la informació d'aquest punter.

Per veure un exemple d'ús de punters veure la figura A.1.

```
1 int x, z;
2 int *y;
3
4 x = 12;
5 y = &x;   // p.e. la direcció de x pot ser 6240fa102
6 z = *y;   // z valdrà 12 (el mateix que x)
7
8 *y = 1480; // x valdrà 1480
9 y = x+z;    // ara y tindrà una direcció incorrecta: 1492
```

Un punter que no apunta a cap lloc s'anomena *punter nul* i el seu valor és 0 (≡`NULL`). Si `p` és un punter nul llavors `*p` no està definit, i en general provoca un error d'execució

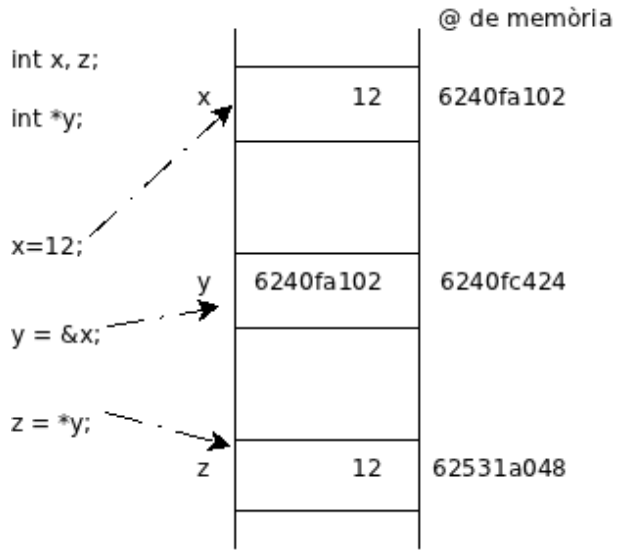


Figura A.1: Exemple gràfic de l'ús de punters.

immediat (tipus *Segmentation fault*), però tot dependrà del sistema. En qualsevol cas és un error greu.

```
1 char *p;
2 char c = 'b';
3 *p = 'a'; // ERROR! p no està inicialitzat, pot apuntar a qualsevol lloc!
4 p = 0;    // p és nul
5 p = &c;   // p apunta a c
6 *p = 0;   // c conté un caràcter amb codi ASCII 0
```

Es poden declarar punters genèrics del tipus `void*`. Aquests punters poden apuntar a qualsevol cosa:

```
1 int x;
2 float y;
3 void *g = &x;
4 ...
5 g = &y;
```

Convé evitar el seu ús, ja que són una font d'errors molt difícil de corregir. El seu ús ha de quedar restringit a funcions de molt baix nivell.

A.2 Referències

Una referència és un nom alternatiu a una variable ja declarada, és a dir, un alias. Una referència d'una variable de tipus `T` és de tipus `T&`.

Tota referència cal que sigui inicialitzada en la seva declaració excepte quan la referència és un paràmetre d'una funció. En aquest darrer cas la referència s'inicialitza automàticament quan s'invoca la funció i s'efectua el pas de paràmetres.

```
1 char a;
2 char& b = a;
```

El valor d'una referència no es pot canviar. Només es pot canviar el valor a la que es refereix la referència.

```
1 a = 'Z';
2 b = 'X';    // a ara val 'X'
```

La direcció d'una referència és la mateixa de la variable a la qual es refereix.
Les referències estan implementades mitjançant punters, però no disposen de les operacions sobre punters.

A.3 Pas de paràmetres

Els paràmetres de sortida i d'entrada/sortida s'especifiquen mitjançant l'ús de referències, és a dir, amb el *pas de paràmetres per referència* on:

- Paràmetre formal: `T& identificador`
- Paràmetre actual: `variable`

Per altra banda, els paràmetres d'entrada es poden especificar de tres maneres diferents:

1. *Pas de paràmetre per valor*: el paràmetre formal es comporta com una variable local de la funció, inicialitzada amb el valor del paràmetre actual (s'usa el constructor per còpia del tipus T):
   - Paràmetre formal: `T identificador`
   - Paràmetre actual: `expressió`
2. *Pas de paràmetre per valor constant*: el paràmetre formal es comporta com una constant local de la funció, inicialitzada amb el valor del paràmetre actual (s'usa el constructor per còpia del tipus T):
   - Paràmetre formal: `const T identificador`
   - Paràmetre actual: `expressió`
3. *Pas de paràmetre per referència constant*: el paràmetre formal és una referència al paràmetre actual (NO es fa cap còpia) però el paràmetre formal no es pot modificar:

- Paràmetre formal: `const T& identificador`
- Paràmetre actual: `variable`

Es recomana el **pas de paràmetres per valor** (`T x`, `const T x`) pels paràmetres elementals predefinits (`int`, `char`, `bool`, ...). En canvi, pels paràmetres d'entrada que siguin objectes "compostos" és preferible el **pas de paràmetres per referència constant** (`const T& x`) per així evitar fer còpies costoses.

El qualificatiu `const` permet que el compilador detecti errors en els que es modifica inadvertidament un paràmetre d'entrada. Això no seria un problema si usem pas per valor (`T x`), ja que treballem amb una còpia, però és un problema molt seriós si usem pas per referència, doncs la funció treballa amb el paràmetre actual (simplement se li dóna un altre nom o alias per referir-se a ell).

Els següents exemples permeten apronfundir en el mecanisme de pas de paràmetres:

Exemple 1) Què s'escriurà per pantalla quan s'executi el següent codi?

```
1  void proc(int x) {
2      cout << x << endl;
3      x = 14;
4      cout << x << endl;
5  }
6
7  int main() {
8      int a = 10;
9      cout << a << endl;
10     proc (a);
11     cout << a << endl;   // a no ha canviat el seu valor
12 }
```

Exemple 2) I si afegim **&** al paràmetre de l'acció *proc*? Què passaria?

```
1  void proc(int &x) {
2      cout << x << endl;
3      x = 14;
4      cout << x << endl;
5  }
6
7  int main() {
8      int a = 10;
9      cout << a << endl;
10     proc (a);
11     cout << a << endl;   // a val 14
12 }
```

Exemple 3) I si la capçalera de l'acció *proc* fos aquesta:

```
1 void proc (const int &x) {
2     ...
3 }
```

Què passaria?

```
1 void proc(const int &x) {
2     cout << x << endl;
3     x = 14;
4     cout << x << endl;
5 }
6
7 int main() {
8     int a = 10;
9     cout << a << endl;
10    proc (a);
11    cout << a << endl;   // ERROR de compilació
12 }
```

Els paràmetres de sortida o d'entrada/sortida poden ser simulats mitjançant l'ús de punters a l'estil de C. Fer-ho d'aquesta manera no és recomanable.

A.4 Retorn de resultats

Una funció pot retornar els seus resultats per còpia, per referència o per referència constant:

tipus funcio(llista_params_formals)

on *tipus* és el nom d'un tipus (`T` o `void`), una referència (`T&`), o una referència constant (`const T&`).

```
1 int f1(int x) {
2     return x;
3 }
4
5 int f2(int& x) {
6     return x;
7 }
8
9 int& f3(int& x) {
```

```
10     return x;
11 }
12
13 int& f4(int x) {   // MALAMENT!!
14     return x;
15 }
16
17 void f() {
18     int w = 10;
19
20     int y = f1(w);
21     // Amb aquesta crida es generen 3 còpies del valor w:
22     // w → x, x → resultat, resultat → y
23
24     int z = f2(w);
25     // El paràmetre formal necessàriament ha de ser una variable.
26     // Es generen 2 còpies del valor w:
27     // w = x → resultat, resultat → z
28
29     int u = f3(w);
30     // genera 1 còpia: w = x = resultat → u
31 }
```

Una funció mai ha de retornar un punter o una referència a una variable local o a un paràmetre donat que són destruits en sortir de la funció.

El compilador detecta la major part d'errors com els que mostrem a continuació si activem els flags adequats. Però, a vegades no són detectats i els errors es produeixen en temps d'execució.

```
1 float* calcula(int x, const float y) {
2     float z = 0.0;
3     while (x > 0) {
4         z =  z + y / x;
5         --x;
6     }
7     return &z;      // ERROR!!
8 }
9
10 float& calcula(int x, const float y) {
11     float z = 0.0;
12     while (x > 0) {
13         z =  z + y / x;
```

```
14          --x;
15      }
16      return z;       // ERROR!!
17  }
```

A.5 Taules (arrays)

C++ té un constructor de vectors (arrays) predefinit que bàsicament funciona igual que C o Java.

Els arrays (i els punters) solen utilitzar-se com mecanismes de baix nivell per implementar classes. Aquests detalls d'implementació queden amagats a l'usuari, que utilitzarà classes segures (es realitzen les comprovacions que siguin necessàries internament) i no haurà de manipular arrays directament.

A.5.1 Declaració

Per declarar un vector de *n* elements del tipus T escriurem:

T identificador[n];

El valor *n* ha de ser constant o una expressió calculable en temps de compilació. Per crear un *array dinàmic* s'ha d'utilitzar una tècnica diferent (veure la sessió 2).

Els components d'un vector d'*n* elements s'indexen de 0 fins a *n* - 1.

En C++ no es fa cap comprovació de rang ni estàtica ni en temps d'execució. Donat un array A amb *n* elements, accedir a A[i], si i ¡ 0 ó i ¿= *n* pot provocar un error immediat o tenir conseqüències encara pitjors.

A.5.2 Consulta/Modificació de les taules

Per consultar una de les caselles d'un vector cal indicar el nom del vector i entre cortxets el número de la casella.

identificador[index];

L'*índex* està comprès entre 0 . . . numero_elements - 1.

Exemple:

```
v[0]
v[1]
...
v[19]
```

o també:

```
v[0] = 15;
```

A.5.3 Connexió entre arrays i punters

La connexió entre arrays i punters en C++ es profunda: un array és de fet un punter constant al primer component del vector: p ≡ & p[0]. En general, p + i ≡ & p[i].

L'única diferència entre un punter i un array és que un array no pot ser "modificat":

```
int p[10];
int z[10];
int* q = p;
for (int i = 0; i < 10; ++i) {
    p[i] = (i + 1) * 10;
}
cout << *q << endl;          // imprimeix 10
cout << p[2] << endl;        // imprimeix 30
cout << *(q + 2) << endl;    // imprimeix 30
q[2] = 33;
cout << *(p + 2) << endl;    // imprimeix 33
q = z;   // és correcte
p = z;   // ERROR! la direcció guardada a p no pot ser modificada
```

Donat que un array és un punter, es pot passar com paràmetre eficientment, però caldrà usar el qualificador `const` per evitar que es facin modificacions accidentals si es tracta d'un paràmetre d'entrada.

Un array només es pot passar per referència o per referència constant (mai es pot passar un array per valor), amb les mateixes regles de pas de paràmetres que en la resta de casos.

El tipus d'un array de `T`'s és, sigui quina sigui la mida, `T* const` o de manera equivalent `T[]`.

No existeixen els arrays multidimensionals. Per crear matrius caldrà usar un array d'arrays.

```
double mat[10][20];
```

B

Memòria dinàmica

B.1 Introducció

La memòria dinàmica permet la reserva i l'alliberament d'espai de memòria per dades durant l'execució del programa, és a dir, ens permet un ús eficient de l'espai de memòria i utilitzar només la quantitat necessària. L'ús de memòria dinàmica pot portar a simplificar el codi en alguns problemes i a complicar el mateix en d'altres. Per això, existeix un compromís entre l'ús de memòria estàtica i dinàmica.

B.2 Reserva i alliberament de memòria dinàmica

Per crear i destruir objectes en memòria dinàmica s'utilitzen els operadors:

- `new` / `delete`: reserva o allibera una porció de memòria.
- `new[]` / `delete[]`: reserva o allibera un array de n objectes (taules dinàmiques).

Si un punter q apunta a una taula creada amb `new[]`, la memòria ha de ser alliberada amb `delete[] q`. Anàlogament, si p apunta a un objecte creat amb `new`, llavors l'objecte s'ha de destruir amb `delete p`. És important tenir en compte que els objectes creats amb memòria dinàmica són "anònims", és a dir, accesibles únicament a través de punters.

Un objecte creat amb memòria dinàmica existeix fins que no sigui destruït explícitament (o acabi l'execució del programa).

En el següent codi es pot veure un exemple d'obtenció i alliberament de memòria dinàmica per tipus predefinits:

```
int* pi = new int;
// reserva memòria per un enter al qual apunta pi

char *pc = new char[10];
// reserva memòria per una taula de 10 caràcters [0..9]
// pc apunta a la component 0 (pc ≡ &pc[0])
// pc[i] ≡ *(pc+i) accedeix a la i-èssima component

...

delete pi;
// allibera la memòria de l'enter apuntat per pi; el punter conserva el seu
// valor, però ara apunta a una zona de memòria disponible per reservar.

delete[] pc;
// allibera la memòria de la taula de caràcters apuntada per pc
```

Els operadors `new` y `delete` no es limiten a crear l'espai de memòria o alliberar-lo. Una cop creat l'espai necessari per l'objecte, `new` invoca al constructor adequat per inicialitzar al nou objecte. Quan es crea una taula d'objectes amb `new[]` el sistema invoca automàticament el constructor per cadascún d'ells.

Per la seva banda, `delete` aplica el destructor de la classe a la que pertany l'objecte apuntat i després allibera la memòria ocupada per l'objecte. Quan es destrueix una taula d'objectes el sistema invoca el destructor per cadascún d'ells en ordre invers a la seva creació.

```

class vector {
  public:
      vector(int s = 8);          // vector de s enters
      vector(const vector &v);    // constructor per còpia
      ~vector();                  // destructor
      ...
};

int main() {
    vector* pv1 = new vector(12);
    // crea un vector de 12 enters apuntat per pv1

    vector* pv2 = new vector;
    // crea un vector de 8 enters apuntat per pv2

    vector* ptv1 = new vector[10];
    // crea una taula de 10 vectors de 8 enters apuntada per ptv1

    vector* pv3 = new vector(*pv2);
```

```
21      // crea un còpia de *pv2 apuntat per pv3
22
23      vector* ptv2 = new vector[10](*pv1);
24      // crea una taula de 10 vectors on cada un dels vectors és una còpia de
25      // *pv1 i està apuntada per ptv2
26
27      delete pv1;
28      delete pv2;
29      delete[] ptv1;
30      delete pv3;
31      delete[] ptv2;
32      // es destrueix la memòria assignada per tots els punters
33  }
```

B.3 Problemes amb la gestió de la memòria dinàmica

Alguns problemes comuns en la gestió de la memòria dinàmica inclouen:

- Emparellament incorrecte: No "aparellar" correctament els operadors.
  Per exemple: intentar destruir amb `delete` una taula creada amb `new[]`.

- Dangling references: Alliberar un objecte que no ha estat creat amb memòria dinàmica o ja ha estat alliberat.
  Per exemple:

```
1  int x;
2  int* p = new int;
3  int* q = &x;
4  delete q;   // ERROR: q no apunta a un objecte creat usant memòria dinàmica
5  q = p;
6  delete p;   // OK
7  delete q;   // ERROR: l'objecte al que apuntava q ha deixat d'existir
```

- Memory leaks: Perdre l'accés a objectes creats amb memòria dinàmica i per tant no tenir la possibilitat de destruir-los.
  Per exemple:

```
1  void f() {
2      int* p = new int;
3      *p = 3;
4  }
5  // ERROR! quan finalitza l'execució de la funció f la variable local p deixa
6  // d'existir i no tenim forma d'accedir a l'objecte.
7
```

```
8  int f2() {
9      int* p = new int;
10     int* q = new int;
11     p = q;     // ERROR! perdem l'accés al primer objecte
12     ...
13 }
14
15 int* g(int x) {
16     int* p = new int;
17     *p = x;
18     return p;
19 }
20 // OK: es pot "recollir"el punter a l'objecte creat dinàmicament en el punt de
21 // crida a la funció g; però aquesta forma de treballar no és aconsellable.
22
23 void h(node* p) {
24     node* q = new node;
25     p -> seg = q;
26 }
27 // OK: es té accés al nou node a partir del punter seg que és apuntat per un
28 // punter extern a la funció h (el paràmetre de la funció).
```

- Desreferència de NULL: Dereferenciar (amb `*` o amb `->`) un punter nul. Aquest error té quasi sempre resultats catastròfics (*segmentation fault*, *bus error*, ...).
  Per exemple:

```
1 bool esta(const llista& l, int x) {
2     node* p = l.primer;
3     while (p != NULL and p -> info != x) {
4         p = p -> sig;
5     }
6     return (p -> info == x);
7     // ERROR! si p == NULL, p->info és incorrecte!
8 }
```

- Problema de l'aliasing: Usar o implementar incorrectament constructores per còpia o l'operador d'assignació per classes implementades mitjançant memòria dinàmica.
  Per exemple:

```
1 char s[] = "abc"; // s[0] = 'a', s[1] = 'b', s[2] = 'c',
2                   // s[3] = '\0'
3 char t[10];
4 t = s;
5 cout << t[0]; // imprimeix 'a'
6 t[0] = 'b';
7 cout << s[0]; // imprimeix 'b'!! t és en realitat un char* i l'assignació
8                // t = s fa que t apunti a 's[0]'.
```

O també:

```
class estudiant {
  public:
     estudiant(char* nom, int dni);
     char* consulta_nom();
     int consulta_dni();
     ...
  private:
     char* _nom;
     int _dni;
};

int main() {
   estudiant a("pepe", 45218922);

   estudiant b = a; // el constructor per còpia d'ofici no serveix!

   a = b; // l'operador d'assignació d'ofici és inadequat!
}
```

- Retornar punter local: Retornar un punter o una referència a un objecte local d'una funció. El problema és que a l'acabar la funció, l'objecte local es destrueix i el punter o referència deixa d'apuntar a un objecte vàlid.
  Per exemple:

```
int& maxim(int A[], int n) {
   int max = 0;
   for (int i = 0; i < n; ++i) {
      if (A[i] >= A[max]) {
         max = i;
      }
   }
   return A[max]; // OK: es retorna una referència a A[max]
}

int& maxim(int A[], int n) {
   int max = 0;
   for (int i = 0; i < n; ++i) {
      if (A[i] >= max) {
         max = A[i];
      }
   }
   return max; // ERROR: es retorna una referència a una variable local!
}
```

- Delete de NULL: Fer `delete p` amb p == *NULL* no és erroni. No té cap efecte i ocasionalment el seu ús ajuda a simplificar el codi.

REGLA DELS TRES GRANS

La regla del tres grans (*anglès: the Law of the Big Three*) indica que si necessites una implementació no trivial del:

- constructor per còpia,
- destructor, o
- operador d'assignació.

segurament necessitaràs implementar els altres. Aquests tres mètodes són automàticament creats pel compilador si no són explícitament declarats pel programador. SEMPRE que una classe empri memòria dinàmica caldrà implementar aquests tres mètodes, ja que les implementacions d'ofici amb punters no funcionen com nosaltres voldríem. Així doncs, per ser més flexibles, en les nostres especificacions posarem aquests tres mètodes.

B.4 Constructor per còpia

Un constructor per còpia inicialitza objectes amb còpies d'altres objectes de la mateixa classe. Aquest mètode té el mateix nom que la classe, rep com a paràmetre un objecte de la mateixa classe i com els mètodes constructor no retorna res. El perfil d'aquest mètode per una classe X seria:

```
X::X(const X&) {
    ...
}
```

Tota classe té un constructor per còpia. Si no el programem, el compilador proporciona un "d'ofici"que es limita a copiar un a un els atributs. En general, el constructor per còpia "d'ofici"ens va bé, exceptuant si l'objecte té un o més atributs que són punters a memòria dinàmica o un array.

Cal tenir en compte que el constructor per còpia s'invoca automàticament quan fem:

- pas de paràmetres per valor
- retorns per valor

- declaracions del tipus:

```
vector v1 = v2;
vector v1(v2);
```

Exemple de constructor per còpia:

```
1  class vector {
2    public:
3       vector(int s = 8);
4       vector(const vector& v); // per còpia
5       ...
6    private:
7       int *_t; // punter de la taula d'enters
8       int _s;  // mida de la taula
9  };
10
11 vector::vector(int s) : _s(s), _t(new int[s]) {}
12
13 vector::vector(vector& v) : _s(v._s), _t(new int[v._s]) {
14    for (int i=0; i < _s; ++i) {
15       _t[i] = v._t[i];
16    }
17 }
18
19 void f() {
20    vector v1(10);    // vector de 10 enters
21    ...
22    vector v2 = v1;   // v2 és còpia de v1
23 }
```

B.5 Destructor

Els destructors proporcionen un mecanisme automàtic que garantitza la destrucció dels objectes. Es declaren com mètodes que no retornen cap resultat i el nom del mètode destructor és el nom de la classe precedit del caràcter ~. Els mètodes destructors mai no tenen paràmetres. El perfil d'aquest mètode per una classe *X* seria:

```
X::~X() {
   ...
}
```

Tota classe té un únic destructor. Si no està programat el destructor, el compilador proporciona un "d'ofici". En general, el destructor "d'ofici"ens va bé exceptuant si l'objecte té un o més atributs que són punters a memòria dinàmica.

El mètode destructor l'invoca **només** el sistema, just en el moment en que el bloc on es va declarar l'objecte s'acaba. Mai es cridarà explícitament el destructor.

Exemple de destructor:

```
1  class vector {
2    public:
3        ...
4        ~vector(); // destructor
5        ...
6    private:
7        int *_t; // punter de la taula d'enters
8        int _s;  // mida de la taula
9  };
10
11 vector::~vector() {
12     delete[] _t;
13 }
14
15 void f() {
16     if ( ... ) {
17         vector v1;
18         ...
19     } // destrucció de v1 en sortir del bloc if
20
21     vector v2;
22     ...
23 } // destrucció de v2 en sortir del bloc de la funció f
```

B.6 Operador d'assignació

Cal tenir en compte que inicialitzar és diferent d'assignar. Quan redefinim l'operador d'assignació =; és similar al constructor per còpia, però l'objecte modificat (la part esquerra) és un objecte que ja existeix i retorna una referència a l'objecte destinatari de la còpia.

Tota classe té definida l'assignació. Si no la programem, el compilador proporciona l'operador d'assignació "d'ofici"que consisteix en cridar un a un l'operador d'assignació per cada atribut de l'objecte en curs. En general, l'assignació "d'ofici"ens va bé, exceptuant si l'objecte té un o més atributs que són punters a memòria dinàmica. En aquest cas cal redefinir l'operador d'assignació per tal que tingui l'efecte que nosaltres desitgem.

El perfil d'aquest mètode per una classe X seria:

```
X& X::operator=(const X&) {
    ...
}
```

L'operador retorna una referència a l'objecte que rep la còpia permetent així l'ús d'expressions com ara: `a = b = c;`.

Altres operadors relacionats amb el d'assignació (com ara +=, -=, etc.) acostumen a tenir el mateix perfil per la mateixa raó.

Exemple d'operador d'assignació:

```
1  class vector {
2    public:
3        ...
4        vector& operator=(const vector& v); // assignació
5        ...
6    private:
7        int *_t; // punter de la taula d'enters
8        int _s;  // mida de la taula
9  };
10
11 vector& vector::operator=(const vector& v) {
12     if (&v != this) {
13         if (_s != v._s) { // si no són de la mateixa mida
14             delete[] _t;    // la taula _t no ens serveix.
15             _s = v._s;
16             _t = new int[_s];
17         }
18         for (int i=0; i < _s; ++i) {
19             _t[i] = v._t[i];
20         }
21     }
22     return *this;
23 }
```

B.7 El component this

this@`this`

`this` és una paraula reserva en `C++` i és un punter a l'objecte que invoca el mètode. És típic en `C++` que l'assignació retorni la referència a l'objecte modificat de manera que, p.e., `a = b = 0` tingui sentit.

```
a = b = 0 ;

// equival a:

a = (b = 0);

// equival a:

a.operator=(b.operator=(0));
```

B.8 Exemple pila

B.8.1 Especificació de la classe pila

Fitxer `pila.hpp`:

```
#ifndef _PILA_HPP
#define _PILA_HPP

class pila {
  public:
     pila();                    // constructor

     // tres grans
     pila(const pila& p);  // constructor per còpia
     ~pila();                   // destructor
     pila& operator=(const pila& p);  // operador assignació

     void apilar(int x);
     void desapilar();
     int cim() const;
     bool es_buida() const;

  private:
     struct node {  // definició de tipus privat
        node* seg;  // punter al següent 'node'
        int info;
     };

     node* _cim;  // la pila consisteix en un punter al node del cim

     // mètode privat de classe per alliberar memòria; allibera la cadena de
     // nodes que s'inicia en el node n.
```

```
28      static void esborra_pila(node* n);
29
30      // mètode privat de classe per realitzar còpies; còpia tota la cadena de nodes
31      // a partir del node apuntat per origen i retorna un punter al node inicial de
32      // la còpia; la paraula reservada const indica que no es pot modificar el valor
33      // apuntat pel punter origen.
34      static node* copia_pila(const node* origen);
35  };
36  #endif
```

B.8.2 Implementació de la classe pila

Fitxer `pila.cpp`:

```
1   #include "pila.hpp"
2
3   //------------------
4   // MÈTODES PRIVATS DE CLASSE
5   //------------------
6
7   void pila::esborra_pila(node* n) {
8       if (n != NULL) {
9           esborra_pila(n->seg); // p->seg equival a (*p).seg
10          delete n; // allibera la memòria de l'objecte apuntat per n.
11      }
12  }
13
14  // és necessari posar pila::node com tipus del resultat per què node
15  // està definit de la classe pila
16  pila::node* pila::copia_pila(const node* origen) {
17      node* desti = NULL
18      if (origen != NULL) {
19          desti = new node;
20          desti->info = origen->info;
21
22          // copia la resta de la cadena
23          desti->seg = copia_pila(origen->seg);
24      }
25      return desti;
26  }
27
28  //------------------
29  // MÈTODES PÚBLICS
30  //------------------
31  pila::pila() : _cim(NULL) { }
```

```
32
33 // genera una còpia de la pila apuntada per 'p._cim'
34 pila::pila(const pila& p) {
35     _cim = copia_pila(p._cim);
36 }
37
38 // allibera la memòria de la pila apuntada per '_cim'
39 pila::~pila() {
40     esborra_pila(_cim);
41 }
42
43 pila& pila::operator=(const pila& p) {
44     if (this != &p) {
45         node* aux = copia_pila(p._cim);
46         esborra_pila(_cim);
47         _cim = aux;
48     }
49     return *this; // retorna una referència a la pila que invoca el mètode.
50 }
51
52 void pila::apilar(int x) {
53     node* n = new node;
54     n->info = x;
55     n->seg = _cim; // connecta el nou node amb el primer node de la pila i
56                    // fa que aquest sigui el cim
57     _cim = n;
58 }
59
60 void pila::desapilar() {
61     node* n = _cim;
62     if (_cim != NULL) {
63         _cim = _cim->seg;
64         delete n;
65     }
66     // faltaria tractar l'error de pila buida
67 }
68
69 int pila::cim() const {
70     if (_cim != NULL) {
71         return _cim->info;
72     }
73     // faltaria tractar l'error de pila buida
74 }
75
76 bool pila::es_buida() const {
```

```
77     return _cim == NULL;
78 }
```

B.8.3 Programa d'exemple que usa la classe pila

Fitxer `exemple_pila.cpp`:

```
1  #include <iostream>
2  #include "pila.hpp"
3
4  using namespace std;
5
6  int main() {
7      int el;
8      pila p;
9
10     cin >> el;
11     while (el != 0) {   // mentre es vagin introduïnt enters
12         p.apilar(el);   // diferents de 0, apilar-los.
13         cin >> el;
14     }
15     pila q = p; // inicialització per còpia
16     while (not q.es_buida()) { // fem un palíndrom en p.
17         p.apilar(q.cim());
18         q.desapilar();
19     }
20     while (not p.es_buida()) { // imprimim i buidem p.
21         cout << p.cim;() << ' ';
22         p.desapilar();
23     }
24     cout << endl;
25 }
```

C

Excepcions i genericitat

C.1 Gestió d'errors

Les excepcions són anomalies que succeixen durant l'execució d'un programa i que impedeixen que continuï la seva execució normal. Aquestes anomalies poden ser provocades per errors de l'usuari (intentar obrir un fitxer inexistent, etc.), per errors lògics (divisió per zero, un accés a una posició inexistent del vector, etc.), o bé errors del sistema o del maquinari.

El disseny de la gestió d'errors ha de realitzar-se posant molt de compte tant en el tractament normal com en l'erroni. En general, un disseny adequat consisteix en:

1. Assumir que les precondicions d'una determinada funció o mètode públic que estem implementant poden no complir-se i detectar qualsevol error en aquest sentit (llevat que per raons d'eficiència convingui no fer la comprovació corresponent).

2. Utilitzar altres funcions i mètodes de la mateixa o d'altres classes assegurant-nos que es verifiquen les seves respectives precondicions i no provoquen cap error en la mesura del possible. No s'ha d'incloure codi per propagar o tractar errors que no es produiran perquè hem fet un ús correcte de les funcions, mètodes, classes, etc.

Hi ha vàries formes de tractar les excepcions:

- Ignorar-les (òbviament no és la millor forma).
- Avortar el programa.
- Usar codis d'error.
- Usar assercions.
- Usar el mecanisme de tractament d'excepcions del llenguatge `C++`.

C.1.1 Avortar el programa

Acabar immediatament l'execució del programa és un tractament d'errors simple però que permet com a mínim evitar obtenir resultats incorrectes.

Per fer això es pot utilitzar les funcions `exit()` o `abort()` que estan incloses a la biblioteca `<cstdlib>`.

```
#include <cstdlib>

int main () {
    ...
    if (n <= 0) {
        cerr << "Missatge d'error" << endl;
        exit(1);
    }
    ...
}
```

C.1.2 Codis d'error

Els codis d'error consisteixen en interrompre l'execució d'una funció per delegar el problema (mitjançant un codi d'error, possiblement amb informació addicional) a la funció que l'ha invocat. Aquesta funció a la seva vegada també pot delegar el problema i així successivament.

```
int f () {
    int res, ret;
    res = f1();
    if (res == OK) {
        res = f2();
        if (res == OK) {
            ret = OK;
        }
        else {
            ret = ERROR2;
        }
    }
    else {
        ret = ERROR1;
    }
    return ret;
}
```

Els codis d'error obliguen a extendre la signatura de les funcions (a vegades retornant un codi d'error o afegint un paràmetre extra d'entrada i sortida) per poder passar la informació sobre l'error entre les funcions. A més cal fer un tractament dels errors de manera interna en les funcions afegint més complexitat.

C.1.3 Assercions

La instrucció `assert()` (de fet és una macro que està a la biblioteca `<cassert>`) comprova una condició donada, interrompent l'execució del programa i imprimint un missatge d'error si la condició no es compleix.

```
assert(n > 0);    // si n <= 0 crida a abort()
```

Les assercions donen escasa informació sobre els tipus d'error que s'han produït:

- No permeten corregir situacions d'error.
- No alliberen els recursos compartits.
- Avorten l'execució del programa.

Però per altra banda, com a mínim permeten evitar l'obtenció de resultats incorrectes. En general, s'utilitzen per la comprovació de precondicions i postcondicions.

C.2 Excepcions en C++

Una excepció és un objecte que pot ser llançat, per més tard ser capturat i tractat. El llenguatge C++ incorpora un mecanisme unificat de tractament d'excepcions. Permet tractar les excepcions com objectes d'una classe determinada.

El mecanisme d'excepcions és molt convenient ja que permet dividir el programa en seccions separades per tractar les situacions normals i excepcionals.

FASES DE LA GESTIÓ D'ERRORS
La gestió d'una situació anòmala en un programa té tres fases: detecció, propagació i tractament. Un cop s'hagi **detectat** un error en un punt del programa s'ha d'indicar la presència del mateix generant una excepció. Aquesta informació s'ha de fer arribar (**propagar**) fins el punt en que es procedirà a actuar (**tractament**).

C.2.1 Detecció i generació d'una excepció

Una vegada hem detectat la situació d'error farem servir la instrucció `throw` *expressió* per generar una excepció llançant un objecte de la classe que avalua l'expressió.

```
1 // Llança una excepció de tipus enter. En concret el número 15.
2 throw 15;
3
4 // Llança una excepció de tipus string.
5 // En concret el missatge "Error del Programa".
6 throw "Error del Programa";
```

Aquesta instrucció s'ha d'executar:

- Dins d'un bloc `try`,
- O bé dins d'una funció que hagi estat invocada dins d'un bloc `try`.
- O dins d'una funció que invoca a una funció que ha estat invocada dins un bloc `try`,
- etc.

El flux de l'execució s'interromp tan aviat es llança l'excepció. L'excepció "salta" immediatament al final de la funció on es produeix, d'allà a la funció que va fer la crida, i d'allà va saltant desfent la seqüència de crides fins que troba el codi disposat a capturar i tractar l'excepció que hem generat. És a dir, la seqüència de "salts" acaba quan l'excepció arriba a un bloc `try`. Cada cop que es desfa una crida s'invoquen els destructors apropiats (es destrueixen totes les variables locals).

C.2.2 Tractament de les excepcions

Un bloc `try { ... }` conté instruccions que poden ocasionar la generació d'una excepció que es vol controlar.

Un bloc `catch (`*tipus*`) { ... }` realitza el tractament de les excepcions del mateix tipus que el tipus indicat. Aquest bloc ha d'anar immediatament a continuació d'un bloc `try`.

```
try {
    // bloc d'instruccions crítiques
}
catch (tipus_excepció1 var1) {
    // gestor 1
}
catch (tipus_excepció2 var2) {
    ...
}
```

Si entre els parèntesis posem tres punts llavors aquest bloc `catch` capturarà qualsevol tipus d'excepció, sigui del tipus que sigui.

```
try {
    // codi que pot generar excepcions de la classes el_meu_error i d'altres.
    ...
}
catch (el_meu_error e) {
    // codi de tractament per excepcions de la classe el_meu_error;
    // dins d'aquest bloc l'excepció pren el nom e.
```

```
8       ...
9   }
10  catch (std::range_error) {
11      cerr << "fora de rang" << endl;
12  }
13  catch (std::bad_alloc) {
14      cerr << "no hi ha memòria disponible" << endl;
15  }
16  catch (...) {
17      // codi de tractament per qualsevol altra classe d'excepció.
18      ...
19  }
```

Si una excepció que ha estat llançada no troba un gestor apropiat, es cridarà a la funció `terminate()`, la qual per defecte realitza un `abort()`.

Una excepció pot ser capturada per un `catch`, tractada i rellançada per ser recollida per un bloc `try` més extern. Per rellançar una excepció només cal cridar a la instrucció `throw` sense passar-li cap paràmetre.

```
1   void f(int x) {
2       try {
3           ...
4       }
5       catch (error e) {
6           ... // es tracta parcialment l'error
7           throw; // rellancem l'error
8       }
9       ...
10  }
11
12  int main() {
13      try {
14          ...
15          f(x);
16          ...
17      }
18      catch (error e) {
19          ...
20      }
21  }
```

El que no s'ha de fer mai és recollir una excepció per a continuació sense fer cap tractament rellançar-la. Per què simplement no es deixa que es propagui l'excepció ella sola?

```
1  void f(int x) {
2      ...
3      try {
4          g(y);
5      }
6      catch (error e) {
7          throw; // rellancem l'error. REDUNDANT!!
8      }
9      ...
10 }
11
12 int main() {
13     try {
14         ...
15         f(x);
16         ...
17     }
18     catch (error e) {
19         ...
20     }
21 }
```

C.2.3 Propagar una excepció

L'estàndard ANSI C++ permet, i recomana, l'ús d'especificacions d'excepcions. Les especificacions d'excepcions permeten incloure a la capçalera de cada mètode quin tipus d'excepció pot generar o propagar aquest mètode. Per fer això usarem la instrucció `throw` al final de la capçalera del mètode.

```
1 // L'acció proc1 pot propagar excepcions sols de tipus int.
2 void proc1 (int a) throw(int) { ... }
3
4 // La funció proc2 pot propagar excepcions de tipus int i char.
5 int proc2 (int a) throw(int, char) { ... }
6
7 // La funció proc3 NO pot propagar cap tipus d'excepció.
8 int proc3 (int a) throw() const { ... }
```

L'absència d'una especificació d'excepcions significa que la funció pot llançar o propagar qualsevol excepció. Aquest conveni pot semblar una mica estrany però obeeix a la compatibilitat amb versions anteriors de C++.

```
1 // L'acció proc4 pot propagar qualsevol tipus d'excepció.
2 void proc4 (int a) { ... }
```

Cal recordar que l'especificació d'excepcions serveix per indicar tant la generació com la propagació. Dins del codi d'una funció no cal que hi hagi forçosament un `throw`, potser qui genera l'excepció és una altra funció que es crida dins.

```
1 void proc5 (int a) throw(int) {
2    proc1(a);
3 }
```

C.3 Classe error

Una de les classes que s'utilitzen en tots els exercicis i exemples de l'assignatura és la classe `error`. Per tal de simplificar la gestió d'errors tots els mètodes i funcions de qualsevol classe que poden provocar una excepció llancen `errors` (exceptuant les classes estàndard com ara `list`, `vector` o `string`). Un objecte de la classe `error` és una tupla amb dos strings (el nom del mòdul o classe on es produeix l'error i el missatge d'error) i un enter (el codi d'error).

La classe ofereix les operacions:

- `modul`, `mensaje` i `codigo`: per consultar cadascun d'aquests camps per separat.
- `print`: per mostrar la informació de l'error per l'`ostream` indicat.
- `operator<<`: per facilitar mostrar informació de l'error.

Òbviament, l'ús de la classe `error` ha d'estar lliure d'excepcions ja que d'una altra manera entraríem en un bucle sense fi.

En els exercicis de programació de l'assignatura per provar les vostres classes disposeu de *drivers*. Els *drivers* són programes principals "avançats" que permeten testejar les classes de manera més acurada. Els drivers internament utilitzen la classe `gen_driver` i carreguen a l'inici un fitxer amb els errors. Per això, **tots els errors poden crear-se indicant únicament el seu codi**.

Tant el nom del mòdul o classe com el missatge d'error poden deixar-se buits si s'utilitza la classe `gen_driver` i es carrega inicialment un fitxer amb els errors. El nom del mòdul i el missatge associat s'obtindran de la informació d'aquest fitxer d'errors. Una avantatge clar és que així podem modificar amb molta més facilitat els missatges d'error (per exemple, per produir-los en diferents idiomes). En els exercicis de l'assignatura se us proporcionarà el fitxer d'errors a usar. Per exemple:

```
// programa principal
...
gen_driver dr("fitxer_errors.txt");
...
```

```
// pila.cpp
if (...) {
   throw error(PilaBuida);
}

// si el fitxer d'errors no estigués carregat hauríem de fer:
if (...) {
   throw error(PilaBuida, "pila", "La pila és buida");
}
```

```
// fitxer_errors.txt
...
21 llista Element inexistent
31 pila La pila és buida
32 pila La pila és plena
...
```

La captura i tractament propiament dit dels errors es farà en el mòdul principal, en aquells exercicis on se us demani. Les classes bàsicament no tractaran els errors, només els llançaran o els propagaran. En els exercicis sempre s'utilitzarà el conveni d'imprimir la informació dels errors pel canal de sortida estàndard (`cout`) i no pel d'error (`cerr`).

Per tal de no utilitzar directament els codis d'error és interessant usar constants simbòliques per gestionar els errors de cada classe.

```
// pila.hpp
#include <string>
#include <esin/error>

class pila {
  public:
      // constants simbòliques per gestionar els errors
      static const char nom_mod[] = "pila";

      static const int PilaBuida = 31;
      static const int PilaPlena = 32;

      ...
      pila(int max_elems = 10);
      ...
};
```

```
1 // pila.cpp
2 #include "pila.hpp"
3 ...
4 void pila::apilar(int x) throw(error) {
5    if (_cim == max_elems) {
6       throw error(PilaPlena);
7    }
8    ...
9 }
```

CONVENI DE PROPAGACIÓ D'ERRORS
Un conveni especial que s'usarà als exercicis de l'assignatura és el que fa referència al comportament en cas de que es produeixin varis errors simultàniament. La regla és simple: si es una invocació concreta d'una funció es produeixen varis errors simultàniament, l'excepció llançada o propagada ha de ser aquella que tingui el codi d'error menor.

C.4 Genericitat

S'entèn per *programació genèrica* un estil de programació en la que els algorismes són el més independents possibles dels tipus de dades que els operen. La programació genèrica en C++ té el seu fonament en les *plantilles* (anglès: *templates*) i en l'explotació sistemàtica del concepte d'iterador.

L'aplicació més visible d'aquestes tècniques és la potent *Standard Template Library* (STL), que presentarem en la següent sessió.

Un *template* permet escriure una funció o una classe en la que intervenen tipus no especificats, que en ser usada s'instanciarà amb els tipus adequats.

C.4.1 Plantilles de funcions

Ara veurem un parell d'exemples de com fer una plantilla d'una funció.

En el primer exemple, es vol implementar una funció que calculi el màxim per diferents tipus:

```
1 // màxim de dos enters
2 int max(int a, int b) {
3    return a > b ? a : b;
4 }
5
6 // màxim de dos reals
7 float max(float a, float b) {
8    return a > b ? a : b;
```

```
}

// màxim de dos caràcters
char max(char a, char b) {
    return a > b ? a : b;
}
```

Com es pot veure el codi de les diferents funcions és exactament el mateix . Per això, per calcular el màxim de qualsevol parell de dades de tipus `T` es pot usar *templates*:

```
// plantilla màxim de dos elements
template<typename T>
T max(T a, T b) {
    return a > b ? a : b;
}
```

Però, seria millor passar els paràmetres per referència per evitar les còpies dels objectes en el pas de paràmetres. Tenint en compte això un possible programa principal que calculi el màxim de diferents tipus:

```
// plantilla màxim de dos elements
template<typename T>
T max(const T& a, const T& b) {
    return a > b ? a : b;
}

int main() {
    double d1 = 3.5, d2 = 4.2;
    cout << max(d1, d2);

    int i1 = 3, i2 = 1;
    cout << max(i1, i2);

    ...
}
```

La funció genèrica `max` es pot aplicar sobre qualsevol tipus que tingui definit l'operador >.

Un segon exemple de plantilla de funció és una funció que implementa l'algorisme d'inserció ordenada.

```
// plantilla màxim de dos elements
template<typename T>
void insertion_sort(T a[], int n) {
    for (int j = 1; j < n; ++j) {
        T key = a[j];
```

```
6         int i = j-1;
7         while (i >= 0 and a[i] > key) {
8             a[i+1] = a[i];
9             --i;
10        }
11        a[i+1] = key;
12    }
13 }
```

Per poder aplicar aquesta plantilla sobre un tipus `T`, cal que `T` tingui disponibles les operacions següents:

- Constructor per còpia: `T (const T&)`
- Assignació: `T& operator=(const T&)`
- Comparació: `bool operator>(const T&)`

C.4.2 Plantilles de classes

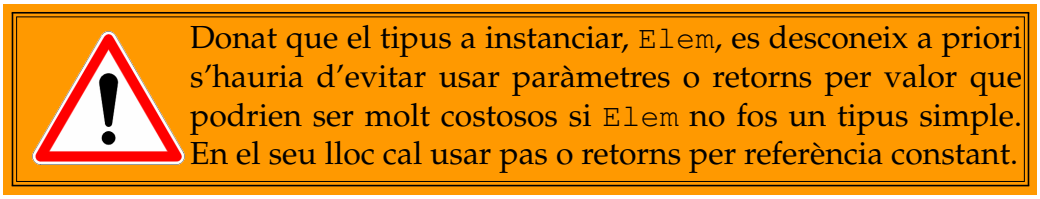
Definir una classe genèrica mitjançant *templates* és tan simple com definir una altra classe, encara que la sintaxi és un pèl més molesta. Per exemple, si es vol implementar una classe genèrica de piles d'elements definirem la classe `pila<Elem>` on `Elem` és el paràmetre "formal" que de la classe genèrica. Aquest paràmetre després s'instanciarà amb el tipus que necessitem en cada moment.

```
1  // pila.hpp
2  template <class Elem>
3  class pila {
4    public:
5        pila();
6
7        pila(const pila& p);
8        pila& operator=(const pila &p);
9        ~pila();
10       ...
11       void apilar(const Elem& x);
12       ...
13   private:
14       struct node { // En realitat seria node<Elem>
15           node* seg;
16           Elem info;
17       };
18       node* _cim;
19       int _nelems;
20 };
```

La primera línia (`template ...`) indica que en la declaració de la classe cada aparició d'`Elem` és en realitat un paràmetre formal que serà substituït per un tipus real a l'instanciar-se la classe. Un exemple d'instanció de classe seria:

```
#include "pila.hpp" // defineix la classe genèrica pila<Elem>
...
pila<char> p;     // p és una pila de caràcters
pila<string> q;   // q és una pila d'strings
pila<int*> r;     // r és una pila de punters a int

// s és una pila de piles d'enters.
// l'espai entre <int> i > és imprescindible per tal que el compilador
// no ho confongui amb l'operador >>.
pila<pila<int> > s;
```



La implementació d'una classe genèrica segueix la mateixa pauta: cal anteposar la declaració `template ...` en la definició de cada mètode:

```
template <class Elem>
pila<Elem>::pila() {
    _cim = NULL;
    _nelems = 0;
}

template <class Elem>
void pila<Elem>::apilar(const Elem& x) {
    node* p = new node;
    p -> seg = _cim;
    p -> info = x;
    _cim = p;
    ++_nelems;
}

...
```

Hi ha dos punts interessants a comentar. Per un costat, el nom de la classe no és `pila`, sinó `pila<Elem>`. Per això hem de definir `pila<Elem>::apilar` i no `pila::apilar`. Un cop ja hem donat la "pista" al compilador de que estem definint un mètode de la classe `pila<Elem>` ja podem ometre en la resta `<Elem>` i escriure, per exemple:

```
template <class Elem>
pila<Elem>& pila<Elem>::operator=(const pila& p) {
    ...
}
```

en comptes de:

```
template <class Elem>
pila<Elem>& pila<Elem>::operator=(const pila<Elem>& p) {
    ...
}
```

Per una altra banda, s'ha d'estar pendent de les suposicions que es fan al respecte sobre el tipus `Elem`. Per exemple, la constructora per defecte (d'ofici) per la classe `node` cridarà a la constructora per defecte d'`Elem` per l'atribut `info`. Així doncs, les classes amb que instaciem `Elem` han de tenir constructora per defecte. Recordeu que si definim una constructora amb paràmetres per una classe, llavors no hi haurà constructora per defecte per aquesta classe. Anàlogament, al destruir un `node` s'invocarà la destructora d'`Elem` i per tant és necessari que existeixi. Finalment, en l'assignació `p -> info = x;` que es fa a `apilar`, estem usant l'operador d'assignació entre `Elem`s, així doncs aquest també ha d'estar definit. En altres casos caldrà que s'hagi definit la igualtat, els operadors de comparació, el constructor per còpia, etc.

IMPLEMENTACIÓ D'UNA CLASSE GENÈRICA
Cal remarcar que les classes genèriques en `C++` (template) tenen la particularitat que la implementació no es posa en el fitxer `.cpp` sinó en un altre fitxer que anomenarem `.t`. Això ho fem per indicar que el fitxer que conté la implementació no s'ha de compilar per separat i que s'estan usant *templates*. Recordeu que en el cas de les classes genèriques el fitxer que conté la implementació no inclou MAI al fitxer capçalera (`.hpp`).

Un problema del mecanisme de *templates* és que actualment no hi ha cap compilador de `C++` que admeti la seva compilació separada, per tant el codi que implementa una classe o funció genèrica ha d'estar en la mateixa unitat de compilació que el codi que instancia i usa el codi genèric.

Per tal de "simular" el model de separació d'especificació i implementació que hem utilitzat fins ara amb les classes no genèriques adoptarem el conveni següent: el mòdul que usa la classe genèrica inclou al fitxer `.hpp` corresponent; el fitxer `.hpp` inclou al fitxer que conté la implementació de la classe i/o funcions genèriques. El fitxer que conté la implementació de la classe genèrica no s'ha de compilar per separat, per això li donarem l'extensió `.t` en comptes de l'habital `.cpp`

Per obtenir més informació sobre la compilació de les classes genèriques veure la secció F.1.2.

```
// programa que usa la classe genèrica pila<Elem>
#include "pila.hpp"
...
pila<int> p;
...
```

```
// pila.hpp
template <class Elem>
class pila {
  public:
      pila();

      pila(const pila& p);
      pila& operator=(const pila &p);
      ~pila();
      ...
  private:
      ...
};
#include "pila.t"
```

```
// pila.t

// No pot aparèixer #include "pila.hpp" ja que sinó tindríem un bucle infinit
// d'inclusions.

template <class Elem>
pila<Elem>::pila() {
    _cim = NULL;
    _nelems = 0;
}
...
```

D

La biblioteca estàndard de C++

D.1 Introducció a l'STL

Amb freqüència hem de gestionar estructures de dades que són coleccions d'objectes o elements. A aquest tipus d'estructures de dades se les anomena *contenidors* (*containers*). Exemples coneguts són les piles, les llistes, els conjunts, els diccionaris, les cues de prioritat, etc.

La biblioteca estàndard de C++ ofereix una gran varietat de classes i funcions útils. Entre elles hem de destacar els `stream`'s per entrada/sortida, i els `string`'s. A més inclou l'anomenada STL (Standard Template Library) que defineix diverses classes genèriques denominades contenidores, i algorismes sobre aquestes classes. Algunes d'aquestes classes contenidores són:

- Vectors: `vector<T>`
  - Seqüència de mida variable i dinàmica.
  - Accés aleatori (podem accedir a qualsevol element de la seqüència). Accedir als elements per la posició del seu índex té cost constant.
  - Les insercions i els esborrats pel final tenen cost constant.
- Dobles cues: `deque<T>` (**d**ouble-**e**nded **que**ue)
  - Seqüència de mida variable i dinàmica.
  - Accés aleatori (podem accedir a qualsevol element de la seqüència).
  - Les insercions i els esborrats pel final tenen cost constant.
  - Vectors i deques tenen una interfície molt similar i poden ser utilitzats per propòsits similats, encara que internament ambdues estructures treballen de manera molt diferent.

- Llistes: `list<T>`
  - Seqüència de mida variable i dinàmica.
  - Accés seqüencial.
  - Insercions i esborrats en qualsevol posició designada per un iterador en temps constant.
- Conjunts: `set<K>`
  - Elements únics. Els elements mateixos són les claus.
  - Recuperació ràpida de les claus (O(log(n)).
- Arrays associatius: `map<K,I>`
  - claus úniques de tipus `K` amb informació associada de tipus `I`.
  - recuperació ràpida de la informació associada a les claus (O(log(n)).

A continuació veurem les classes `string`, `vector` i `list` amb més detall.

D.2 La classe `string`

Un *string* és una cadena de caràcters. La biblioteca estàndard de C++ ofereix una classe `string` que ens permet gestionar-los amb tota comoditat. Ocasionalment, haurem d'utilitzar cadenes de caràcters representades segons les convencions de `C`, és a dir, un array de caràcters (`const char*`) acabat amb el caràcter el codi ASCII del qual és 0 ('\0'). A aquestes últimes cadenes les anomenarem `C-strings` per distinguir-les dels strings que proporciona C++.

Per usar `string` haurem d'incloure el fitxer del mateix nom:

```
#include <string>
```

D.2.1 Ús bàsic

La classe ofereix les operacions habituals de construcció, asignació, etc. i podem llegir-los o imprimir-los d'igual forma que els tipus elementals. També podem assignar a un string una cadena literal entre cometes (un C-string constant). A vegades necessitem produir un C-string a partir d'un string, per això usarem `c_str()`:

```
string s;
cout << "Nom del fitxer: ";
cin >> s;
string t = "hola";
fstream f(s.c_str()); // la constructora de la classe fstream
                      // (ver apendice B) té com paràmetre el
                      // nom del fitxer que és un const char*
```

D.2.2 Operadors + i +=

Els operadors + i += serveixen per concatenar.

```
string s, t; // crea dos strings buits
s = "Hola";  // assigna el C-string constant "Hola"
             // a l'string 's'

t = s + "␣mon!"; // concatena 's' amb "mon!"
cout << t << endl; // imprimeix Hola mon!

t += "␣i␣adeu!";
cout << t << endl; // imprimeix Hola mon! i adeu!
```

Un caràcter (`char`) també pot utilitzar-se com un valor del tipus, exceptuant en la inicialització:

```
string s = 'h';  // error!
string t("cola");
t = t + '*';     // ok!
```

D.2.3 Longitud

La longitud d'un string s'obté amb `length()` o `size()` i podem accedir als caràcters individualment, com si es tractés d'un array (però no ho és):

```
bool es_vocal(char c) { ... }

int quantes_vocals(const string& s) {
   int nv = 0;
   for (int i = 0; i < s.length(); ++i) {
      if (es_vocal(s[i])) {
         ++nv;
      }
   }
   return nv;
}
```

D.2.4 Operadors de comparació

Els operadors de comparació entre strings estan definits respetant l'ordre alfabètic:

```
string s = "casa";
string t = "cama";
string u = "dado";
```

```
string v = u + "s"; // v == "dados"

cout << (s < t) << endl;   // imprimeix false
cout << (s <= u) << endl;  // imprimeix true
cout << (u > v) << endl;   // imprimeix false
cout << (s != t) << endl;  // imprimeix true
```

D.2.5 Mètode substr

El mètode `substr()` ens permet extreure *substrings* d'un string donat:

```
string s = "portaavions";
s.substr()          // retorna una copia de s
s.substr(5);        // retorna el substring "avions"
s.substr(1,6);      // retorna "ortaav"
```

En general, `substr`(i, n) retorna el substring que comença en la posició i i té longitud n (ambdós inclosos). Els caràcters s'indexen de 0 en endavant. Si n no es dóna, llavors retorna el substring que va des de la posició i fins el final. Si i tampoc es dóna llavors es considera que $i = 0$. Es produeix un error si $i >$ `length()`.

D.2.6 Mètode replace

Amb `replace()` podem reemplaçar un substring per un altre. Per exemple,

```
string s = "portaavions";

s.replace(5,6,"helicopter");
cout << s << endl;      // imprimeix portahelicopter
```

Existeixen versions més sofisticades de `replace`; en la versió bàsica de l'exemple donem la posició inicial i la longitud del substring a reemplaçar i l'string que reemplaça.

D.2.7 Mètode find

Per acabar aquesta breu descripció cal comentar algunes de las facilitats que proporciona la classe `string` per la cerca dins d'un string. El mètode bàsic s'anomena `find()` i ens permet trobar la primera ocurrència d'un caràcter o substring en un string a partir d'una certa posició. El mètode retorna la posició d'inici del substring o caràcter buscat o `npos` (un valor especial) per indicar el fracàs de la cerca.

```
string s = "Lola, pasame la cola";

s.find("ola");          // retorna 1
s.find("ola", 3);       // retorna 17
s.find("pase");         // retorna npos
s.find('p');            // retorna 7
s.find('l', 3);         // retorna 13
```

El primer argument de `find()` és el caràcter o substring que se busca. El segon és la posició (inclusivament) a partir de la qual s'inicia la cerca. Per defecte, la cerca s'inicia en el principi de l'string.

El conveni d'usar `npos` per indicar el fracàs d'una cerca introdueix certs inconvenients a l'hora d'usar el mètode `find()`. El resultat d'una cerca sempre s'hauria de recollir en una variable del tipus `string::size_type` i haurem de testejar si el resultat és `string::npos`.

```
// reemplaça totes les aparicions en s de s1 per s2
// ex: { s = "ana se come una banana" }
// global_replace(s, "ana", "alle")
// { s = "alle se come una ballena" }
void global_replace(string& s, const string& s1,
        const string& s2) {
    string::size_type idx = 0;
    int l1 = s1.length();
    int l2 = s2.length();
    while ((idx = s.find(s1, idx)) != string::npos) {
        s.replace(idx, l1, s2);
        idx += l2;
    }
}
```

D.3 vector<T>

Un objecte de la classe `vector` és conceptualment similar a un array, però sense algunes de les desavantatges dels arrays i ofereix funcionalitats addicionals, com ara que s'expandeixin i es contreguin segons la necessitat.

Un dels desavantatges de `vector` és que quan la capacitat es gestiona automàticament en general consumeix més memòria que un array. Això és degut a que reserva espai addicional d'emmagatzematge de cara a un creixement futur del vector.

Com a classe contenidora estàndard ofereix un repertori d'operacions molt extens, incloent algunes que no són típiques dels vectors (p.e. inserció i esborrat d'elements en posicions intermitges).

En tots els contenidors la classe dels elements que es vol emmagatzemar (tipus `T`) ha de tenir definida el constructor per còpia, l'asignació i l'operador d'igualtat. A més la semàntica d'aquestes tres operacions ha de ser coherent:

```
T a = b;   // constructor per còpia
c = b;     // operador d'assignació
bool ok = (a == c);    // ha de ser true
bool ok = (a == b);    // ha de ser true
```

Per usar `vector` haurem d'incloure el fitxer del mateix nom:

```
#include <vector>
```

D.3.1 Ús bàsic

La mida inicial d'un vector es pot indicar en el moment de la creació, però pot augmentar si s'afegeixen elements al final, p.e. mitjançant el mètode `push_back`.

```
// Constructor de vector.
explicit vector();
explicit vector(size_type n, const T& value= T());

// Tres grans.
vector(const vector<T>& x);
~vector();
vector<T>& operator=(const vector<T>& v);
```

Exemple d'ús:

```
#include <vector>

int main() {
    // creem un vector de 9 enters
    vector<int> v1(9);

    // crea un vector de 10 càracters inicialitzats amb 'a'
    vector<char> v1(10, 'a');
}
```

D.3.2 Iteradors

Els iteradors de la classe `vector` funcionen igual que els iteradors de la classe `list`. Per més informació sobre els iteradors consultar la classe `list` (veure la secció D.4.2).

```
// Retorna un iterador al principi.
iterator begin();
const_iterator begin() const;

// Retorna un iterador al final.
iterator end();
const_iterator end() const;

// Retorna un iterador invers que es refereix a l'últim element de la llista.
reverse_iterator rbegin();
const_reverse_iterator rbegin() const;
```

```
// Return un iterador invers que es refereix al primer element de la llista.
reverse_iterator rend();
const_reverse_iterator rend() const;
```

D.3.3 Capacitat

Internament, els vectors —com tots els contenidors— tenen una mida que representa la quantitat d'elements que conté el vector. No obstant això, els vectors, també tenen una capacitat, que determina la quantitat d'espai d'emmagatzematge que tenen assignats, i que pot ser igual o superior a la real. La quantitat extra d'emmagatzematge que el vector té assignat no s'utilitza, però està reservada per al vector per ser usada en el cas que creixi. D'aquesta manera, el vector no ha de reassignar l'emmagatzematge cada vegada que creix. Només ho farà quan aquest espai extra s'hagi esgotat i un nou element s'insereixi (que només hauria de passar en freqüència logarítmica en relació amb la seva grandària).

Les reassignacions poden ser una operació costosa en termes de rendiment, ja que generalment involucren que tot l'espai d'emmagatzematge utilitzat pel vector es copiï a una nova ubicació. Per tant, cada vegada que hi hagi previst un gran augment de la mida per a un vector, es recomana indicar explícitament una capacitat per al vector utilitzant el mètode `vector::reserve`.

```
// Retorna la mida.
size_type size() const;

// Retorna la mida màxima. Aquest màxima és la mida màxima potencial
que la llista pot arribar a tenir degut a limitacions del sistema o
de la biblioteca.
size_type max_size() const;

// Canvia la mida, esborrant o afegint elements en cas necessari.
void resize(size_type sz, T c = T());

// Retorna la mida de la capacitat d'emmagatzematge assignada.
size_type capacity() const;

// Indica si el vector és buit.
bool empty() const;

// Demana que la capacitat ha de ser com a mínim la indicada.
void reserve(size_type n);
```

D.3.4 Accés als elements

La classe ofereix mètodes d'accés per l'índex: o bé mitjançant l'operador d'indexació tradicional `[]`, o bé mitjançant el mètode `at` que comprova el rang i llança una excepció

en cas necessari.

```
// Accés a l'element n-èssim.
reference operator[](size_type n);
const_reference operator[](size_type n) const;

// Accés a l'element n-èssim.
reference at(size_type n);
const_reference at(size_type n) const;

// Accés al primer element.
reference front();
const_reference front() const;

// Accés a l'últim element.
reference back();
const_reference back() const;
```

Exemple d'ús:

```
#include <vector>
#include <iostream>

using namespace std;

int main() {
    vector<int> v;
    vector<vector<double> > mat;
    for (int i=0; i < 10; ++i) {
        v.push_back(i);
    }
    for (int i=0; i < v.size(); ++i) {
        cout << v[i] << " ";
    }
    cout << endl;
    try {
        for (int i=0; i < 100; ++i) {
            cout << v.at(i) << " ";
            // llança una excepció si la posició no existeix
        }
        cout << endl;
    }
    catch (...) {
        cerr << "Fora de rang!" << endl;
    }
}
```

D.3.5 Modificadors

En comparació amb els contenidors bàsics de seqüències (`deque` i `list`), els vectors són generalment els més eficients en temps per accedir als elements i per afegir o treure elements del final de la seqüència.

Per a les operacions que impliquin inserir o eliminar elements en posicions que no siguin el final, tenen pitjors resultats que `deque` i `list`, i a més els iteradors i referències són menys consistents que els de les llistes.

```
// Afegeix nous elements a la llista, eliminant tots els elements
// que contenia la llista anteriorment.
// En concret afegeix n vegades l'element u.
void assign(size_type n, const T& u);

// Afegeix un element al final.
void push_back(const T &x);

// Esborra l'últim element.
void pop_back();

// Insereix elements just davant de l'element apuntat per l'iterador.
iterator insert(iterator position, const T& x);
void insert(iterator position, size_type n, const T& x );

// Elimina elements.
iterator erase(iterator position);
iterator erase(iterator first, iterator last);

// Intercanvia el contingut dels dos vectors (el vector en curs i v).
void swap(vector<T> &v);

// Esborra tot el contingut del vector.
void clear();
```

D.4 `list<T>`

La classe `list` ofereix operacions usuals de llistes, incloent recorreguts en ambdues direccions, insercions i esborrats en punts arbitraris, etc.

La flexibilitat i eficiència d'aquesta classe resideix en les classes auxiliars d'iteradors. Un iterador és un "apuntador" a un element de la llista i s'usa per consultar l'element apuntat, eliminar-lo, inserir un nou element, etc.

Comparada amb els altres contenidors estàndards de seqüències (`vector` i `deque`), les llistes en general acostumen a ser millors inserint, accedint i movent elements en

qualseol posició dins del contenidor, i també en els algorismes que fan ús d'aquestes operacions, com ara els algorismes d'ordenació.

El principal inconvenient de les llistes en comparació amb els altres contenidors de seqüències és que no tenen accés directe als elements per la seva posició. Per exemple, per accedir al sisè element d'una llista s'ha de recórrer des d'una posició coneguda (com el principi o el final) fins arribar a aquesta posició, la qual cosa pren un temps lineal que depèn de la distància on es troba l'element.

Les llistes també consumeixen una mica de memòria extra per mantenir la informació que encadena els diferents elements. Aquest pot ser un factor important quan la llista és gran i els elements de mida petita.

Per usar `list` haurem d'incloure el fitxer del mateix nom:

```
#include <list>
```

D.4.1 Ús bàsic

```
// Constructor de list.
explicit list();
explicit list(size_type n, const T& value= T());

// Tres grans.
list(const list<T> &l);
~list();
list<T>& operator=(const list<T>& l);
```

D.4.2 Iteradors

A vegades necessitem recòrrer els elements d'un d'aquests contenidors. Una possibilitat és dota a la classe corresponent d'un punt d'interès i operacions que permetin desplaçar el punt d'interès i consultar l'element al qual *apunta* el punt d'interès. Una altra solució que és molt més potent i flexible consisteix en definir una o més classes auxiliars d'iteradors associats a la classe contenidora.

Un iterador abstreu la idea d'índex o punter a un element. S'assembla molt a un punt d'interès, però tenen diferències molt importants:

- el punt d'interès està sota el control de la pròpia classe contenidora i només pot haver-hi un.
- els iteradors són externs a la classe contenidora i es poden crear tants com siguin necessaris.

Els iteradors poden ser assignats i comparats (==, !=). Els operadors d'increment i decrement desplacen l'iterador des d'un element al seu successor o predecessor. L'operador de desreferència * aplicat a un iterador permet accedir al seu contingut. Però un iterador NO és un punter, encara que en molts aspectes es comporti de manera similar.

Aquesta classe està equipada també amb iteradors inversos (`reverse_iterator` i `reverse_const_iterator`) que operen al revés que els iteradors normals. En termes abstractes treballen sobre la llista invertida.

```
// Retorna un iterador al principi.
iterator begin();
const_iterator begin() const;

// Retorna un iteradoral final.
iterator end();
const_iterator end() const;

// Retorna un iterador invers que comença pel final.
reverse_iterator rbegin();
const_reverse_iterator rbegin() const;

// Retorna un iterador invers que comença pel principi.
reverse_iterator rend();
const_reverse_iterator rend() const;
```

Exemple d'ús:

```
// Acció que donada una llista d'enters inicialitza tots els elements amb
// l'enter indicat.
void assigna_x(list<int>& l, int x) {
    list<T>::iterator it = l.begin();
    while (it != l.end()) {
        *it = x;
        ++it;
    }
}

// Acció que donada una llista mostra els seus elements per l'ostream
// indicat.
// ATENCIÓ: Per recòrrer aquesta llista caldrà usar un iterador constant
// donat que la llista que ens passen no es pot modificar.
template <typename T>
void mostrar(const list<T>& l, ostream& os) {
    list<T>::const_iterator it = l.begin();
    while (it != l.end()) {
        os << *it << endl;
        ++it;
    }
}
```

D.4.3 Capacitat

```
// Indica si la llista és buida.
bool empty() const;
```

```
// Retorna la mida de la llista.
size_type size() const;

// Retorna la mida màxima. Aquest màxima és la mida màxima potencial que la llista
// pot arribar a tenir degut a limitacions del sistema o de la biblioteca.
size_type max_size() const;

// Canvia la mida de la llista, esborrant o afegint elements en cas necessari.
void resize(size_type sz, T c = T());
```

Exemple d'ús:

```
#include <iostream>
#include <list>

using namespace std;

int main () {
    list<float> lst;
    cout << lst.empty() << endl;   // true
    cout << lst.size() << endl;    // 0
    lst.push_back(1.0);
    lst.push_back(2.0);
    lst.push_back(3.0);
    cout << lst.empty() << endl;   // false
    cout << lst.size() << endl;    // 3
}
```

D.4.4 Accés als elements

```
// Accés al primer element.
reference front();
const_reference front() const;

// Accés a l'últim element.
reference back();
const_reference back() const;
```

D.4.5 Modificadors

La classe `list` té les operacions usuals d'inserció i esborrat pel final (`push_back`, `pop_back`) i pel principi (`push_front`, `pop_front`)

```
// Afegeix nous elements a la llista, eliminant tots els elements
// que contenia la llista anteriorment.
// En concret afegeix n vegades l'element u.
```

```
void assign(size_type n, const T& u);

// Afegeix un element al principi de la llista.
void push_front(const T &x);

// Esborra el primer element de la llista.
void pop_front();

// Afegeix un element al final.
void push_back(const T &x);

// Esborra l'últim element de la llista.
void pop_back();

// Insereix el nombre d'elements indicat abans de l'iterador.
iterator insert (iterator position, const T& x);
void insert (iterator position, size_type n, const T& x);

// Esborra de la llista l'element apuntat per l'iterador o tots
// els elements que estan entre els dos iteradors.
iterator erase (iterator position);
iterator erase (iterator first, iterator last);

// Intercanvia el contingut de les dues llistes (la llista en curs i lst).
void swap(list<T>& lst);

// Esborra tot el contingut de la llista.
void clear();
```

D.4.6 Altres operacions

Algunes de funcionalitats addicionals que tenen les llistes són les següents:

```
// Mou elements d'una llista a l'altra.
void splice(iterator pos, list<T>& x);
void splice(iterator pos, list<T>& x, iterator i);
void splice(iterator pos, list<T>& x, iterator first, iterator last);

// Esborra els elements que tenen un valor específic.
void remove(const T& value);

// Esborra els valors duplicats.
void unique();

// Fusiona dues llistes. Combina x a la llista en curs, inserint tots
// els elements de x en les seves respectives posicions ordenades.
```

```
// Aquest mètode buida x i incrementa la mida de la llista.
void merge(list<T>& x);

// Ordena els elements que hi ha en el contenidor del més petit fins
// el més gran. L'ordenació es realitza mitjançant la comparació dels
// elements a la llista de dos en dos utilitzant un algorisme d'ordenació.
// Aquesta operació no suposa la construcció o destrucció de cap objecte.
void sort();
```

Exemple d'ús

```
#include <list>
#include <string>
#include <iostream>

int main() {
    list<string> lst;
    string s;
    while (cin >> s) { // 'cin >> s' retorna 0 ≡ false si s'acaba l'input
        lst.push_back(s);
    }
    lst.sort();           // ordena 'lst'
    mostrar(lst, cout);
}
```

E

Decàleg per implementar una classe en C++

Començar a implementar una classe en C++ des de cero pot ser un procés complicat els primers cops que ho feu. En aquest capítol veurem els passos que caldria seguir per tal d'implementar una classe en C++. Per tal d'il·lustrar el procés amb més detall es desenvoluparà un exemple: la classe `IntCell`. El concepte d'aquesta classe és molt senzill, ja que només ens permet emmagatzemar un únic enter dins la classe.

1ª Llei Crear la capçalera de la classe

FER el fitxer de capçalera de la classe (a partir d'ara l'anomenarem **fitxer .HPP**) on apareixen els mètodes (constructors, modificadors i consultors) que permeten actuar sobre una classe.

En el cas de les pràctiques d'ESIN ja disposeu del fitxer capçalera en el Campus Digital[1]. Per tant no l'heu de crear. És a dir, en aquest punt heu de tenir el fitxer capçalera de la classe similar al que es pot veure a la figura E.1.

2ª Llei Pensar la representació

PENSAR la representació interna de la classe.

- ⋆ La majoria de classes han d'emmagatzemar algun tipus d'informació. O sigui, s'ha de pensar ***com guardar aquesta informació***.

[1] http://atenea.upc.edu

```
#ifndef _INTCELL_HPP_
#define _INTCELL_HPP_

#include <string>

class IntCell {
  public:
    explicit IntCell(int initialValue=0);

    int read() const;
    void write(int x);
    IntCell operator+(const IntCell &ic) const;

  private:
    // Si la classe fos per una sessió de laboratori la representació s'afegiria aquí.

  };
  #endif
```

Figura E.1: Exemple: Fitxer *intcell.hpp*

- ⋆ Les possibles representacions d'una classe van des de les més simples (variable, struct, ...) fins a representacions més complicades (taules, arbres, ...).
- ⋆ A l'hora de triar la representació d'una classe s'ha de pensar en l'eficiència esperada de cada una de les operacions.
- ⋆ Una vegada s'ha decidit quina és la representació adient, és bo escriure-la sobre paper, i així acabar de visualitzar completament les estructures que s'hagin pensat. En el cas de representacions complexes és aconsellable (a més d'escriure l'explicació) fer una *representació gràfica*.

3ª Llei Escriure la representació

ESCRIURE la representació de la classe un cop ja tenim les idees ***clares***. La representació interna d'una classe normalment s'escriurà dins el fitxer `.HPP` (a la part privada). A la pràctica de cara a poder corregir les classes de manera automàtica, la declararem en un fitxer apart que anomenarem **fitxer .REP**. És a dir:

- *Sessions de Laboratori*: la representació de la classe es posarà en el fitxer `.HPP`.
- *Pràctica*: s'ha de crear un fitxer amb el mateix nom de la classe però amb extensió `.REP`. Aquest fitxer contindrà les variables, structs, tipus, ..., que representen la nostra classe. Veure la figura E.2.

És convenient documentar acuradament els fitxers per tal de deixar clar QUÈ s'ha fet i PER QUÈ s'ha fet d'aquesta manera.

```
1 [...]
2 private:
3   // La representació de la classe IntCell està formada per un únic atribut
4   // "_storedValue", on emmagatzemem el valor de la cel·la.
5   int _storedValue;
6 };
7 #endif
```

Figura E.2: Exemple: Fitxer *intcell.rep*

4ª Llei Crear fitxer .CPP

- COPIAR el **fitxer .HPP** de la classe com a **fitxer .CPP** (fitxer d'implementació). Aquesta comanda a Linux és la següent:

  ```
  cp fitxer.hpp fitxer.cpp
  ```

- Tot seguit, hem d'ESBORRAR del fitxer `.CPP` **TOT** el contingut **menys les capçaleres de les operacions públiques** que hem d'implementar. Observeu la figura E.3 per tenir un exemple del resultat esperat d'aquest pas després d'haver transformat el fitxer capçalera.

```
1 explicit IntCell(int initialValue=0);
2 int read() const;
3 void write(int x);
4 IntCell operator+(const IntCell &ic) const;
```

Figura E.3: Resultat d'aplicar aplicar la *4a llei* sobre *intcell.hpp*

5ª Llei Retocar les capçaleres de les operacions

1. INCLOURE **davant del nom de cadascuna de les operacions** el nom de la classe seguit de l'operador scope (**::**). Veure la figura E.4.

2. AFEGIR al final del nom del mètode { } i esborrar el **;**. Veure la figura E.5.

```
explicit IntCell::IntCell(int initialValue=0);
int IntCell::read() const;
void IntCell::write(int x);
IntCell IntCell::operator+(const IntCell &ic) const;
```

Figura E.4: Fitxer .CPP *després* del primer pas de la *5ª llei*

```
explicit IntCell::IntCell(int initialValue=0) { }
int IntCell::read() const { }
void IntCell::write(int x) { }
IntCell IntCell::operator+(const IntCell &ic) const { }
```

Figura E.5: Fitxer .CPP *després* del segon pas de la *5ª llei*

3. ESBORRAR les inicialitzacions per defecte[2] `(=0, =1, ...)` i el modificador `explicit`[3] de les capçaleres del `.CPP`. Veure la figura E.6.

```
IntCell::IntCell(int initialValue) { }
int IntCell::read() const { }
void IntCell::write(int x) { }
```

Figura E.6: Fitxer .CPP *després* del tercer pas de la *5ª llei*

6ª Llei Afegir l'include

INCLOURE al principi del fitxer `.CPP` un include amb el nom del fitxer `.HPP` de la classe que estem creant:

```
#include "nom-classe.hpp"
```

El resultat d'aplicar aquesta llei a l'exemple es pot veure en la figura E.7.

[2] Les inicialitzacions per defecte o també dites paràmetres per defecte especifiquen quin valor ha de prendre un paràmetre en cas que no s'indiqui el seu valor. Els paràmetres per defecte només figuraran en l'especificació de la classe, és a dir, el fitxer `.HPP`.

[3] El modificador `explicit` indica que no es poden aplicar conversions de tipus implícites. Per exemple, si la constructora de la classe `IntCell` estigués declarada amb el modificador `explicit` en aquest cas:

```
IntCell ic;
ic = 37;
```

el compilador donaria un error ja que els tipus no coincideixen. En cas contrari el compilador no es queixaria i l'assignació mitjançant la conversió s'hauria produït. Aquest modificador només pot aparèixer al fitxer `.HPP`.

```
#include "intcell.hpp"

IntCell::IntCell(int initialValue) { }
int IntCell::read() const { }
void IntCell::write(int x) { }
IntCell IntCell::operator+(const IntCell &ic) const { }
```

Figura E.7: Fitxer .CPP *després* de la *6ª llei*

7ª Llei Primera compilació

- En aquests moments el fitxer .CPP ha de COMPILAR sense cap error.

  ```
  g++ -c -Wall nom-classe.cpp
  ```

  Sols cal compilar la classe i no cal linkar-la amb un programa principal ja que no farà res. Per tenir més detalls de com es compila/linka en C++ mirar l'**apèndix B** d'aquest manual.

- Quan compilem pot ser que apareguin més d'un *warning* ja que els mètodes de la classe no fan res, i alguns mètodes poden necessitar retornar quelcom.

- Si apareixen *errors* vol dir que hem realitzat algun dels passos malament. Revisar tots els passos.

8ª Llei Implementació incremental

IMPLEMENTAR una operació de la classe. És aconsellable començar per la/les constructora/es per continuar amb les modificadores i acabar amb les consultores. En qualsevol cas és aconsellable implementar una única operació alhora.

9ª Llei Compilar, Linkar i Provar

Sempre després d'acabar d'implementar un mètode cal compilar, i sempre que es pugui provar el seu funcioment. Si ho fem així podrem estalviar-nos que en una compilació ens sortin 300 errors, o que un error de funcionament de la classe estigui a l'operació constructora (al principi de tot).

Per comprovar una classe cal provar-la generalment amb un programa que tingui un **main**. Es pot veure un exemple de programa principal en la figura E.8.

S'ha de compilar el programa principal, i muntar-ho tot (linkar) per generar l'executable.

```cpp
#include <iostream>
#include "intcell.hpp"

using namespace std;

int main () {
  IntCell icell;
  cout << icell.read() << endl;
}
```

Figura E.8: Fitxer *prog.cpp* per provar la constructora per defecte de la classe IntCell

```
g++ -o nom_executable.e nom-classe1.o nom-classe2.o
```

Un cop s'ha comprovat que l'operació funciona correctament cal tornar a aplicar la **8ª llei** amb una altra operació.

10ª Llei Proves globals

Un cop acabada la implementació de totes les operacions de la classe hem de PROVAR-la amb els casos normals i els límit. Es pot veure la implementació acabada de la classe que estem fent servir com a exemple en la figura E.9.

```
#include "intcell.hpp"

IntCell::IntCell(int initialValue) {
    _storedValue = initialValue;
}

int IntCell::read() const {
    return _storedValue;
}

void IntCell::write(int x) {
    _storedValue = x;
}

IntCell IntCell::operator+(const IntCell &ic) const {
    IntCell nou(_storedValue + ic._storeredValue);
    return nou;
}
```

Figura E.9: Fitxer *intcell.cpp* acabat

F

Compilació, muntatge i execució en C++

Un compilador és un programa d'ordinador que permet traduir un programa escrit (un llenguatge d'alt nivell) a un altre llenguatge de programació (normalment llenguatge màquina), generant un programa equivalent que l'ordinador pot entendre.

Aquesta eina permet al programador desconèixer el llenguatge que utilitza l'ordinador i escriure en un llenguatge més universal i més proper a com pensa un ésser humà.

En aquest capítol veure'm com és el procés de compilació, muntatge i execució en C++, i diferents eines que ens poden ser útils en cadascuna d'aquestes etapes.

F.1 Compilació separada i muntatge

F.1.1 Compilació i muntatge bàsic

La compilació és el procés durant el qual es tradueixen les instruccions escrites en un determinat llenguatge de programació a llenguatge màquina.

Per compilar programes en C++ utilitzarem el compilador GNU gcc, en concret utilitzarem l'ordre g++.

Per compilar un fitxer font per separat s'usa l'ordre g++ (el text en cursiva indica un argument) amb l' *opció -c* :

```
$ g++ -c nom_fitxer.cpp
```

Aquesta ordre produeix un fitxer objecte *nom_fitxer.o*.

Per generar el fitxer executable cal muntar ("linkar") un o més fitxers objectes. Només cal posar els noms dels fitxers objecte (sense que importi l'ordre) darrera de g++:

```
$ g++ nom_fitxer1.o nom_fitxer2.o ...
```

Aquest procés genera el fitxer executable per defecte que s'anomena `a.out`. Si es vol que el fitxer executable tingui un nom diferent llavors s'ha d'usar l' *opció* `-o` :

```
$ g++ -o nom_executable.e nom_fitxer1.o nom_fitxer2.o ...
```

També es pot compilar i muntar varis fitxers en una única ordre:

```
$ g++ -o nom_executable.e f1.cpp f2.o ...
```

Per exemple, donades dues classes (a i b) que són utilitzades per un programa principal ($prog$) (veure la la representació en la figura F.1) es podria generar l'executable d'aquesta forma:

```
$ g++ -o prog.e a.o prog.cpp b.o
```

Es genera un fitxer executable anomenat `prog.e`, que es forma a partir de la compilació del fitxer `pr.cpp` i el fitxer objecte resultant es munta amb els fitxers `a.o` i `ba.o`. El fitxer intermig `pr.o` no es conserva.

F.1.2 Compilació i muntatge de classes genèriques

Els mòduls que defineixen classes o funcions genèriques no es compilen MAI per separat. Una forma adequada d'organitzar el codi consisteix en escriure la classe en dos fitxers:

- *declaració de la classe*: en el fitxer capçalera amb extensió `.hpp` com estem acostumats.
- *implementació de la classe*: en un fitxer que per conveni li donarem l'extensió `.t`.

Cal tenir en compte que el fitxer `.hpp` ha d'incloure al fitxer `.t`. Així doncs, si un programa usa a la classe genèrica X llavors haurà d'incloure el fitxer `X.hpp` (i indirectament inclourà a `X.t`).

Es pot obtenir una comprovació sintàctica de la classe genèrica mitjançant la inclusió del fitxer `.hpp` (i per tant del fitxer `.t`) en un fitxer `.cpp`. Aquest fitxer només cal que tingui la línia d'inclusió.

Per exemple, donades dues classes a i b, que són utilitzades per un programa principal ($prog$) i la classe a és genèrica (veure la representació en la figura F.2) es podria generar l'executable després de fer:

```
$ g++ -c prog.cpp
$ g++ -c b.cpp
$ g++ -o prog.e prog.o b.o
```

Com es pot comprovar la classe a no s'hauria de compilar.

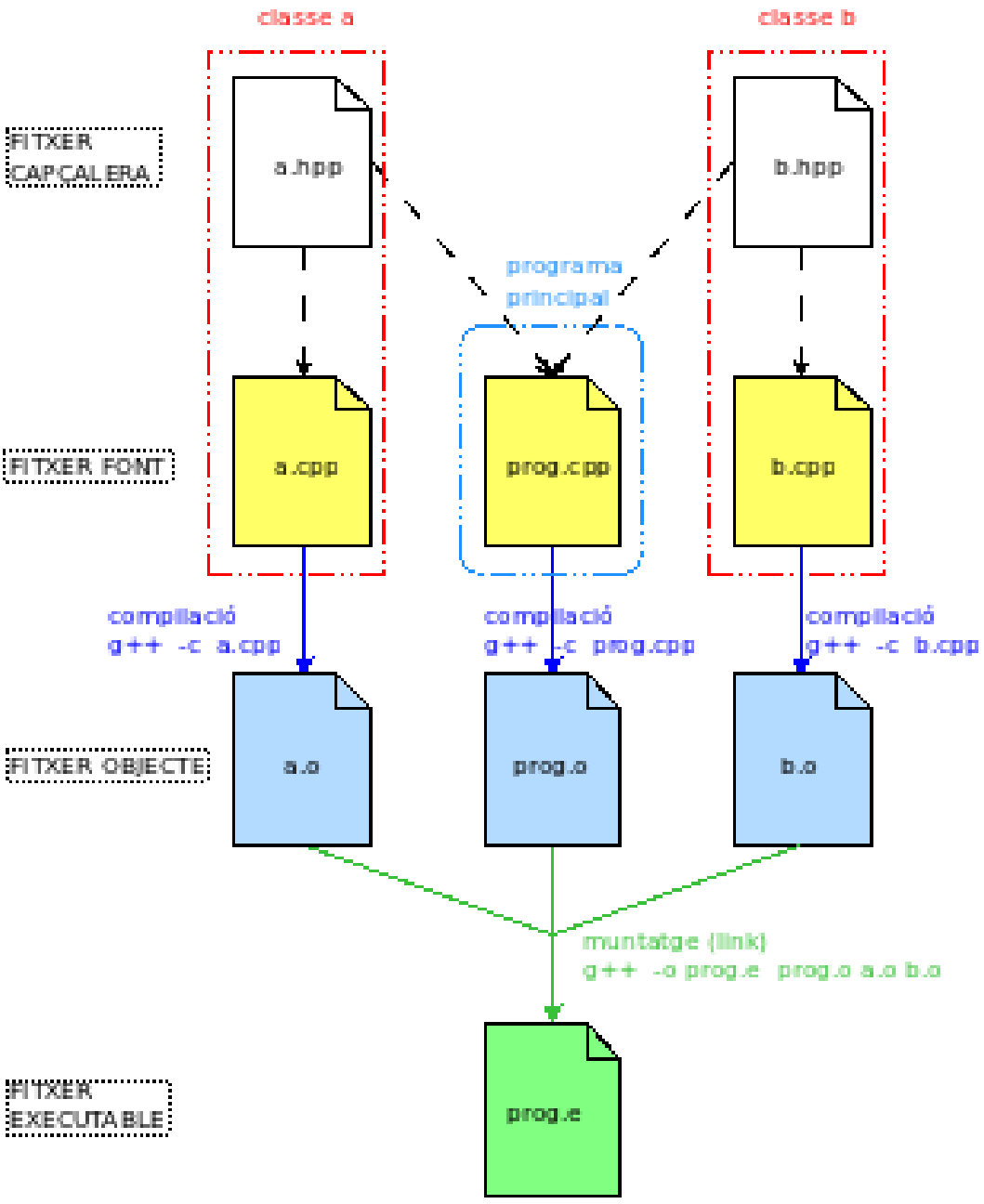


Figura F.1: Compilació i muntatge de les classes a i b, i el programa principal $prog$.

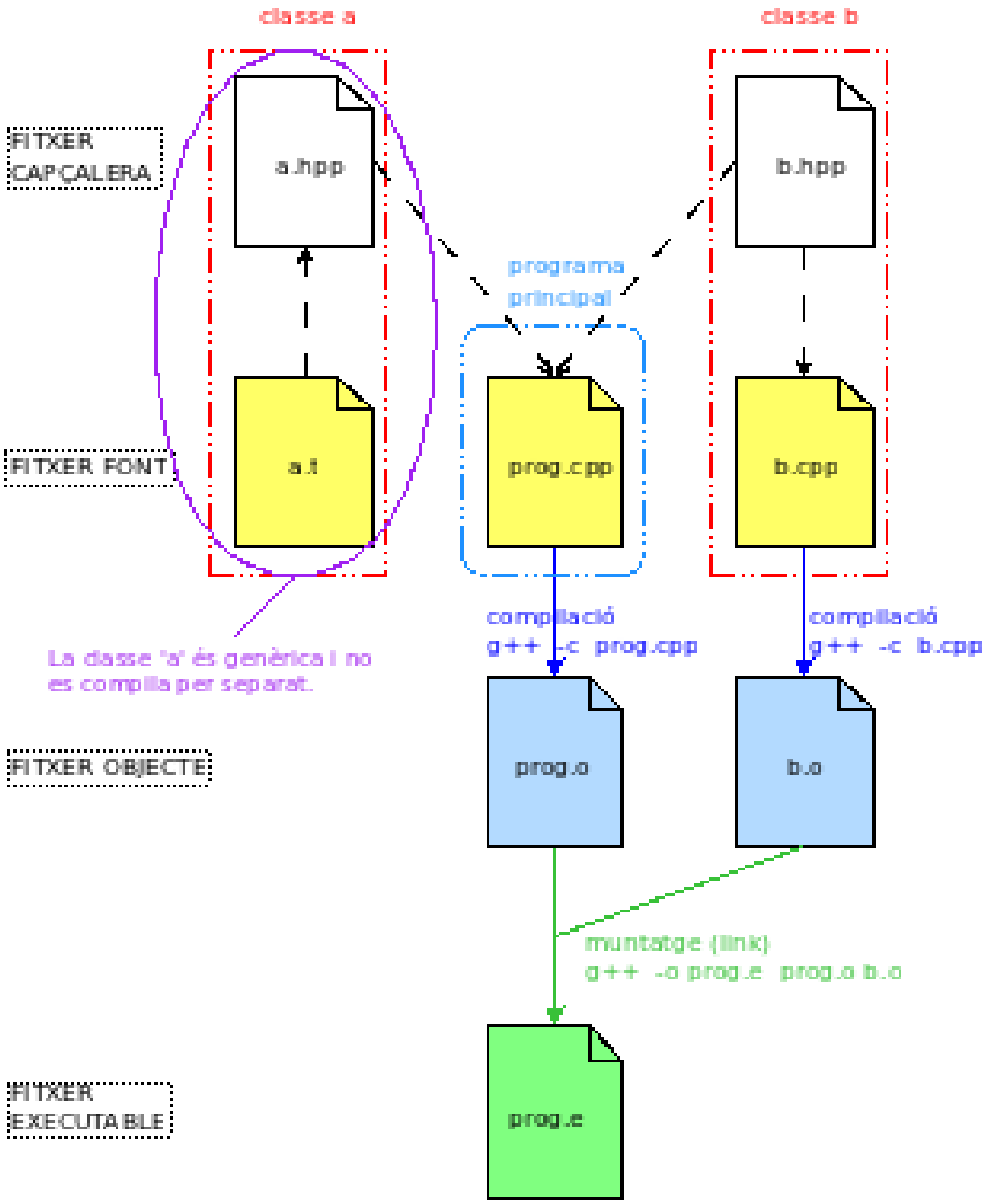


Figura F.2: Compilació i muntatge de les classes a (genèrica) i b, i el programa principal $prog$.

F.1.3 Compilació i muntatge amb biblioteques

Molts programes només utilitzen classes, mètodes i funcions definides a la biblioteca estàndard (per exemple, `string`, `iostream`, `list`, ...). El muntador (o *linker*) sempre empra per defecte aquesta biblioteca.

Si volem emprar una altra biblioteca caldrà indicar-ho explícitament en l'ordre de muntatge mitjançant l' *opció* `-l` .

A Unix el conveni és anomenar a les biblioteques `lib`*xxxx* amb extensió `.a` o `.so` (depenent de si la biblioteca és estàtica o `dinàmica`. Després de l'opció `-l` es posa la part variable del nom de la biblioteca, és a dir, *xxxx*.

Per exemple, per usar les biblioteques `libB1` i `libB2` caldria executar la següent ordre:

```
$ g++ -o nom_executable.e f1.o f2.o ... -lB1 -lB2
```

F.1.4 Altres opcions

Opció -I

Si necessitem utilitzar fitxers de capçalera (`.hpp`) que no es troben en el mateix directori on estem compilant o en un directori estàndard d'inclusió (per exemple, `/usr/include`) caldrà utilitzar l' *opció* `-I` . Posarem tantes opcions `-I` com directoris volguem afegir a la llista de directoris d'inclusió.

```
$ g++ -c -I /home/users/adam/headers f1.cpp
```

Per especificar un camí amb l'opció `-I` es pot usar el camí absolut o el camí relatiu.

Si l'ordre de l'exemple anterior s'estigués executant en el directori `/home/users/eva/pract` podríem haver escrit:

```
$ g++ -c -I ../../adam/headers f1.cpp
```

Opció -L

Un problema similar a l'anterior es dóna si necessitem usar una biblioteca que no estigui en el directori en curs o en un directori estàndard (por exemple, `/usr/lib`). En aquest cas s'utilitza l' *opció* `-L` per indicar el camí.

Per exemple, suposem que volem utilitzar `libB1.a` que es troba a `/home/users/esin`. Llavors escriurem:

```
$ g++ -L /home/users/esin -o prog.e prog.cpp f1.cpp -LB1
```

Opció -Wall

Per aconseguir que el compilador verifiqui instruccions dubtoses i avisi del màxim nombre possible de fonts d'error cal utilitzar l' *opció* `-Wall` :

```
$ g++ -c -Wall  nom_fitxer.cpp
```

Opció -g

Si es vol utilitzar un *debugger* caldrà afegir l' *opció* `-g` al compilar:

```
$ g++ -g -c -Wall fitx.cpp
```

o si es crea directament l'executable (sense compilació separada) llavors:

```
$ g++ -g -Wall -o nom_executable.e f1.cpp f2.cpp ...
```

F.2 Make

`make` és un programa d'Unix que simplifica notablement el treball de compilació i muntatge. A més a més, es pot instruir adequadament a `make` per tal que recompili només aquells fitxers que facin falta.

El programa `make` utilitza un fitxer anomenat `Makefile` que s'ha de trobar en el mateix lloc on s'executa el `make`. Aquest programa té un argument, el *target*, que és el que volem que es construeixi. Si escrivim `make` sense cap argument, el *target* és el primer que aparegui en el `Makefile`.

Per veure el funcionament del `make` escriurem el Makefile per l'exemple de la figura F.1. Per complicar-ho una mica suposarem que els fitxers `.hpp` es troben en el directori: `/home/users/yo/elsmeusincludes`, i a més a més necessitem la biblioteca `/home/users/yo/elsmeuslibs/libB1.a`.

```
1  CC = g++
2  INCL = /home/users/yo/elsmeusincludes
3  COMPILE = $(CC) -c -Wall -I $(INCL)
4  LIBS = /home/users/yo/elsmeuslibs
5  LINK = $(CC) -L $(LIBS)
6  OBJS = prog.o a.o b.o
7
8  prog.e: $(OBJS) $(LIBS)/libB1.a
9          $(LINK) -o prog.e $(OBJS) -lB1
10 prog.o: prog.cpp $(INCL)/a.hpp $(INCL)/b.hpp
11         $(COMPILE) prog.cpp
12 a.o: a.cpp $(INCL)/a.hpp
13         $(COMPILE) a.cpp
14 b.o: b.cpp $(INCL)/b.hpp
15         $(COMPILE) b.cpp
```

Les primeres sis línies defineixen variables. Es poden declarar tantes variables com vulguem. Si `X` és una variable, es pot accedir al seu valor mitjançant `$(X)`. Després de la declaració de variables vénen una sèrie de blocs de la forma:

```
target: dependències
        ordre1
        ordre2
        ...
```

Cada línia en la que escrivim una ordre ha de començar obligatòriament amb un **tabulador**.

Les dependències són llistes que indiquen quins elements intervenen directament en la construcció del *target* i poden canviar.

Per exemple, `prog.e` depèn dels fitxers `prog.o`, `a.o`, `b.o` i també de `libB1.a`, per això apareixen aquests fitxers en la llista de dependències. Sota la llista apareix l'ordre per generar `prog.e` a partir de les dependències. I el mateix passa amb la resta.

Es poden fer moltes altres coses mitjançant `make`. No només facilita el procés de compilació i muntatge.

Per exemple, si afegim aquestes línies al final del `Makefile`:

```
1 clean:
2         rm -rf *.o; rm prog.e
```

cada cop que escrivim `make clean` esborrarem tots el fitxers `.o` i l'executable.

F.3 Execució

Per executar un programa només cal escriure el nom de l'executable després del *prompt* de Unix:

$ *nom_executable*

Si el programa llegeix i escriu pels canals estàndard d'entrada (`cin`) i sortida (`cout`) es pot redirigir l'entrada per tal que vingui d'un fitxer i no del teclat, i la sortida per tal que s'escrigui en un fitxer enlloc de la pantalla. Per fer això utilitzarem els operadors de redireccionament (< per l'entrada i > per la sortida) seguits del nom del fitxer corresponent. Es pot redireccionat només l'entrada, només la sortida, o ambdues:

$ *nom_executable* < *fitxer_entrada* > *fitxer_sortida*

Es pot connectar la sortida estàndard d'un programa amb l'entrada estàndard d'un altre programa mitjançant una *pipe*. L'operador corresponent és la barra vertical `|`.

$ *nom_executable1* | *nom_executable2*

Molts programes escriuen els seus missatges d'error pel canal estàndard d'error (`cerr`) que normalment està associat a la pantalla. Si utilitzem l'operador > els missatges continuen apareixent per pantalla. Per redirigir el canal `cerr` s'utilitza l'operador `>&` seguit del nom del fitxer. Per exemple:

```
$ g++ -c pr.cpp >& errores.txt
```

G

Estil de programació i documentació

Un estil de programació consistent i una documentació clara, concisa i precisa són dos elements claus d'un bon programa. La detecció d'errors o la modificació d'un programa mal documentat i sense una mínima coherència (noms dels identificadors, sagnat[1], estructuració dels components del programa, etc.) és una tasca gairebé impossible. A continuació us donem una sèrie de recomanacions sobre aquests dos aspectes.

G.1 Noms de variables adequats

Useu noms descriptius per constants, classes i funcions visibles en diferents punts del programa, i noms breus per les variables locals o els paràmetres formals d'una funció.

Per exemple, és inapropiat cridar a un mètode *f* o a una classe *X* (menys en el cas que es vulgui il·lustrar una característica del llenguatge de programació!). Els identificadors pels mètodes o les classes han de descriure el seu propòsit i per tant solen ser llargs i estar compostos per vàries paraules: *copia_pila*, *insereix*, *SopaLletres*, ... En canvi, per un paràmetre formal o una variable local l'identificador *n* és adequat, *npunts* acceptable i *numero_de_punts* és un usar un "canó per matar mosques".

Si una variable local s'utilitzarà d'una manera convencional podem donar-li un identificador mínim: *i*, *j* i *k* s'acostumen a usar pels índexs de bucles, *p* i *q* per punters, *s* i *t* per `strings`, etc. Per exemple:

```
1 void inicia_taula(elem taula_elems[], int nr_elems) {
2     int indice_elem;
3     for (indice_elem = 0; indice_elem < nr_elems;
```

[1] "Indentació".

```
4                                                indice_elem++) {
5         taula_elems[indice_elem] = indice_elem;
6     }
7 }
```

és un codi molt menys entenedor que

```
1 void inicia_taula(elem a[], int n) {
2    for (int i = 0; i < n; i++) {
3       a[i] = i;
4    }
5 }
```

G.2 Conveni consistent pels identificadors

> **"Inventeu" un esquema per expressar els identificadors i apliqueu-lo sistemàticament i consistent.**

Per exemple, s'acostuma a recomanar utilitzar noms en majúscules per constants (p.e., *ELEM_SIZE*, *MAX_ELEMS*). Un conveni que hem utilitzat en aquest document i en el material de l'assignatura és el de combinar majúscules i minúscules pels identificadors de codis i missatges d'error (p.e., *NoSolReal*, *PilaPlena*). En general, les connectives (p.e., articles i preposicions) es deixen en minúscules. Alguns programadors utilitzen el conveni descrit per tots els seus identificadors de funcions, classes, i altres elements globals: *class Pila* { ... }, *CopiaPila*, *elCim*, *unNode*, ... Altres prefereixen utilitzar minúscules i separar les paraules mitjançant el símbol de subratllat: *copia_pila*, *el_cim*, ... Un conveni que també té molts adeptes és el d'anteposar el caràcter de subratllat als elements privats d'una classe:

```
1 template <typename T>
2 class pila {
3   ...
4  private:
5     int _cim;
6     T _cont;
7     int _max_elems;
8 };
```

G.3 Utilitzar noms en forma activa per les funcions

Es recomana usar verbs en veu activa pels mètodes i les funcions, i reservar adjectius o noms de la forma *es_...* per funcions o mètodes el resultat dels quals és un booleà.

Convé pensar els identificadors des del punt de vista de l'usuari, no de l'implementador i tenir en compte que els mètodes s'apliquen sobre objectes. Per exemple, compareu:

```
conjunt c;
if (c.pertany(x))
...
```

amb

```
conjunt c;
if (c.conte(x))
...
```

El conveni o esquema de noms utilitzat ha de basar-se en el que les entitats representen, no a com ho representen. Són desaconsellables per tant els convenis basats en una característica de baix nivell o lligada a la implementació, com per exemple anteposar el prefix *i_* a les variables i atributs de tipus enter i el prefix *f_* a les variables i atributs de tipus real (`float`).

Sobretot, és important ser consistent: al principi pot alentir una mica el treball haver de recordar els convenis que hem triat; però després ho farem quasi sense pensar.

Acabem aquest punt amb un exemple d'inconsistència caricaturitzat, però indicatiu de la importància que té aquest aspecte de l'estil:

```
class Pila {
 public:
   Pila(int max_elements);
   ~Pila();
   Pila(const Pila& s);
   Pila& operator=(const Pila& la_pila);

   void Apilar(int element);
   int desapila();
   int Cim();
   bool Buida();

 private:
   struct tnodo {
     int info;
     tnode* seguent;
```

```
17     };
18     tnode* cim;
19     int Nr_Elems_Pila;
20     int maxElems;
21 };
```

G.4 Nom d'identificadors precisos

Un nom no només identifica; comporta informació. Un nom inadequat induirà a confusions i errors.

Per exemple, la implementació següent no és gens adequada:

```
1 bool conjunt::conte(int x) {
2     bool trobat = true;
3     node* p = primer;
4
5     while (p != NULL and trobat) {
6         trobat = p -> info != x;
7         p = p -> seg;
8     }
9     return trobat;
10 }
```

la variable local *trobat* significa el contrari del que el seu nom indica, i la funció retorna el contrari del que el seu nom indica. Probablement es tracta d'un error induït per l'identificador *trobat*, però canviar `return` *trobat* per `return not` *trobat* no és una bona solució.

G.5 Identació del codi

Sagneu el codi i utilitzeu els parèntesis i espais en blanc per millorar la llegibilitat del codi.

La majoria d'editors de text moderns (p.e., EMACS) incorporen identació automàtica, de manera que no porta massa problema. També convé substituir, al final, tots els tabuladors (introduïts mitjançant la tecla TAB o automàticament per l'editor) per espais en

blanc. Sinó les impressions en paper poden quedar desajustades. Useu els parèntesis i els espais en blanc per resoldre ambigüitats i facilitar la comprensió de les expressions. Per exemple,

```
bool es_any_traspas(int y) {
return y%4==0 and y%100!=0 or y%400==0;
}
...
for(int i=0;i<n;i++)
atraspas[i]=es_any_traspas(llista_anys[i]);
...
```

és, per la majoria de la gent, més difícil de comprendre que

```
bool es_any_traspas(int y) {
   return ((y % 4 == 0) and (y % 100 != 0)) or
          (y % 400 == 0);
}
...
for (int i = 0; i < n; ++i) {
   atraspas[i] = es_any_traspas(llista_anys[i]);
}
...
```

Això mateix passa amb les claus ({}) d'obertura i tancament de blocs. Si un bloc només conté una instrucció no fa falta usar-les, però pot ser útil per millorar la llegibilitat i evitar errors com en el següent exemple:

```
if (mes == FEBRER) {
   correcte = true;
   if (es_any_traspas(any))
      if (dia > 29)
         correcte = false;
   else     // aquest else NO emparella amb el segon if!!
      if (dia > 28)
         correcte = false;
}
```

Es pot resoldre el problema usant les claus en el lloc adequat o millor encara escrivint:

```
if (mes == FEBRER) {
   correcte = (dia <= 28) or
              (dia == 29 and es_any_traspas(any));
}
```

Sigueu consistents amb l'estil d'identació i l'ús de les claus. Alguns estils de sagnat i ús de les claus populars són:

1. les claus s'obren i es tanquen en línies separades;

```
// Exemple de l'estil 1
for (int j = 0; j < k; j++)
{
    i = j % 2;
    if (i == 0)
    {
        ...
    }
    else
    {
        ...
    }
}
```

2. la clau s'obre en la línia que obre el bloc `for`, `while`, etc., i les claus de tancament van en línies separades;

```
// Exemple de l'estil 2
for (int j = 0; j < k; j++) {
    i = j % 2;
    if (i == 0) {
        ...
    }
    else {
        ...
    }
}
```

3. totes les claus de tancament consecutives es posen en la mateixa línia.

```
// Exemple de l'estil 3
for (int j = 0; j < k; j++) {
    i = j % 2;
    if (i == 0) {
        ...
    } else {
        ...
} }
```

Convé usar algun dels estils usuals ja que són ben suportats pels editors de text i no resultaran xocants per altra gent que llegeixi el codi.

Una excepció respecte les regles habituals de sagnat són les alternatives múltiples. En C i C++ és típic escriure:

```
if (B_1)
    S_1
else if (B_2)
    S_2
...
else if (B_n)
    S_n
else
    S_{n+1}
```

amb tots els `else`'s alineats; quan les B_i's són mútuament excloents (els `if`...`else`'s s'avaluen seqüencialment i no hi ha indeterminisme).

G.6 Evitar una lògica del programa antinatural

Eviteu un "flux" o lògica del programa antinatural i "factoritzeu" el codi comú.

Per exemple, en lloc de

```
1  int s = 0;
2  node* p = _primer;
3  if (p == NULL) {   // la llista és buida; no fem res
4  }
5  else {
6      while (p != NULL) {
7          s = s + p -> valor;
8          p = p -> seg;
9      }
10 }
11 return s;
```

hauríem d'haver escrit:

```
1 int s = 0;
2 node* p = _primer;
3 while (p != NULL) {
4     s += p -> valor;
5     p = p -> seg;
6 }
7 return s;
```

o bé

```
int s = 0;
for (node* p = _primer; p != NULL; p = p -> seg) {
    s += p -> valor;
}
return s;
```

Un altre exemple és la següent funció per inserir un element en un conjunt implementat mitjançant una llista enllaçada ordenada, amb fantasma i apuntadors al primer i a l'últim node:

```
void conjunt::insereix(const string& x) {
    node* q = _primer;          // q apunta al fantasma
    while (q -> seg != NULL and q -> seg -> info < x) {
        q = q -> seg;
    }
    if (q -> seg == NULL) {
        node* p = new node;     // el nou node serà l'últim
        p -> info = x;
        p -> seg = NULL;
        _ultim = p;
        q -> seg = p;
    }
    else if (q -> seg -> info == x) { // no es fa res
    }
    else {
        node* p = new node;
        p -> info = x;
        p -> seg = q -> seg;
        q -> seg = p;
    }
}
```

Hauria estat molt millor "factoritzar" la part comuna i simplificar la "lògica" de la part que segueix al bucle de cerca:

```
void conjunt::insereix(const string& x) {
    node* q = _primer; // q apunta al fantasma
    while (q -> seg != NULL and q -> sig -> info < x) {
        q = q -> seg;
    }
    if (q -> seg == NULL or q -> seg -> info != x) {
        node* p = new node;
        p -> info = x;
        p -> seg = q -> seg;
```

```
10          if (q -> seg == NULL) {
11              _ultim = p;
12          }
13          q -> seg = p;
14      }
15  }
```

G.7 Disminuir la complexitat

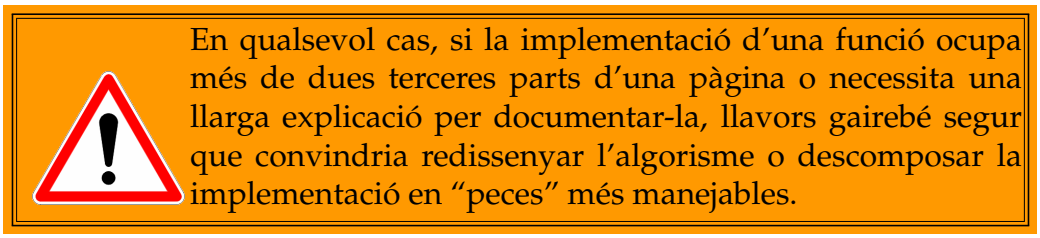
Disminuïu la complexitat del vostre codi mitjançant un ús assenyat de la descomposició funcional. Aprofiteu les solucions a problemes similars mitjançant una adequada descomposició funcional.

Per exemple, en una classe implementada amb una llista enllaçada és freqüent tenir un bucle, com a l'exemple previ, o el codi corresponent a la inserció en un punt concret de la llista. Per tant pot ser convenient tenir sengles operacions privades i implementar les operacions públiques usant les privades:

```
1  // llista_ord.hpp
2  class llista_ord {
3    public:
4        ...
5        // insereix 'x' a la lista, en ordre
6        void insereix(int x);
7        ...
8    private:
9        ...
10       static void insereix_darrere(node* p, int x);
11       node* troba_elem(int x);
12
13 };
14
15 // llista_ord.cpp
16 ...
17 void llista_ord::insereix(int x) {
18     node* q = troba_elem(x);
19     if (q -> seg == NULL or q -> seg -> info > x) {
20         insereix_darrere(q, x);
21     }
22 }
23
```

```
24 // mètode privat
25 // retorna un apuntador a l'últim node de la llista tal que la seva info és <
26 // x. En alguns casos retornarà el fantasma, si la llista és buida o el primer
27 // de la llista és >= x, o l'últim node, si x és major que la info de qualsevol
28 // node de la llista.
29 llista_ord::node* llista_ord::troba_elem(int x) {
30     node* q = _primer;
31     while (q -> seg != NULL and q -> seg -> info < x) {
32         q = q -> seg;
33     }
34     return q;
35 }
36
37 // mètode privat de classe
38 // insereix a la llista enllaçada un nou node, amb info == x, com a successor
39 // del node apuntat per p. Pre: p != NULL
40 void llista_ord::insereix_darrere(node* p, int x) {
41     node* n = new node;
42     n -> info = x;
43     n -> sig = p -> sig;
44     p -> sig = n;
45 }
46 ...
```

Donat que només els mètodes de la classe poden utilitzar als mètodes privats és adequat suposar que les precondicions es compliran en ser invocats, i així evitem una gestió d'errors complexa.



Un altre aspecte a considerar és l'ordre en el que definim les funcions. Existeixen vàries alternatives raonables: totes les funcions privades en primer lloc i després les públiques; o al revés. Un conveni probablement millor és el de situar les operacions privades el més properes (just abans o just després) de l'operació o operacions que les usin.

G.8 Useu construccions similars per tasques similars

Useu construccions similars per realitzar tasques similars.

Si en un punt del programa inicieu una taula *t* mitjançant:

```
for (int i = 0; i < n; ++i)
    t[i] = 0;
```

llavors no escriviu el bucle que calcula quants elements no nuls hi ha en *t* de la següent manera encara que sigui totalment correcte:

```
i = 0;
nnuls = 0;
while (i <= n - 1) {
    if (A[i] != 0) {
        ++nnuls;
    }
    ++i;
}
```

G.9 No usar variables globals

No useu variables globals, exceptuant quan sigui estrictament imprescindible. Una variable o objecte global és extern a qualsevol funció o mètode. Els atributs de classe són bàsicament objectes globals, exceptuant que l'accés a ells pot restringir-se si es declaren a la part privada.

```
int nr_elems;            // variable global! MALAMENT
const int MAX_ELEMS = 30;   // constant global, OK

class X {
    ...
    static const int MAX_SIZE = 20; // constant de classe, OK
    static int nr_objectes;     // variable de classe! MALAMENT
    ...
};
```

El problema amb els objectes globals és que podem tenir efectes laterals en les funcions i mètodes, i es trenquen els principis de modularitat. En el següent exemple la funció *esta* només funciona pel vector *t* la mida del qual és *n*, i no obstant això, l'algorisme que implementa és igualment vàlid per qualsevol vector:

```
// variables globals
int t[20];
int n;

// retorna cert si i només si 'x' està en t[0..n-1]
bool esta(int x) {
    for (int i = 0; i < n and t[i] != x; ++i)
        ;          // el cos del bucle és buit
    return i < n;
}
```

Tota comunicació entre les funcions i els mètodes amb el seu entorn hauria de produir-se a través dels seus paràmetres o retorns. Observeu que per un mètode d'una classe *X* l'objecte al qual s'aplica el mètode és un paràmetre implícit i per tant no suposa una violació d'aquesta regla.

Les anomenades *variables locals estàtiques* són una altra forma encoberta de trencar la modularitat. Una variable d'aquest tipus és una variable local a una funció o mètode, però reté el seu valor entre execucions successives.

Hi ha casos excepcionals i plenament justificats per l'ús de variables globals o estàtiques; p.e., els objectes `cout`, `cin` i `cerr` són objectes globals. Fixeu-vos, no obstant, que acostumem a definir funcions del tipus `print` o els operadors `<<` i `>>` de manera que reben un paràmetre de tipus *ostream* o *istream* explícit.

Un exemple clàssic d'ús justificat de variables estàtiques i globals és un generador de nombres pseudo-aleatoris: cada número és generat a partir de l'anterior (exceptuant la primera vegada) i no és adequat ni còmode que l'usuari haig de gestionar-ho a través de paràmetres explícits:

```
double llavor = 0.0; // variable global
void inicialitza_rand(double sm) {
    llavor = sm;
}
double rand() {
    static double x = llavor;
    // la primera vegada s'inicialitza amb el valor de la variable global;
    // i a partir d'aquest moment, la variable estàtica local x comença amb
    // el seu valor en l'execució prèvia
    x = funcio_complicada(x);
    return x;
}
```

El llenguatge `C++` ens ofereix mecanismes que ens permeten donar una solució més "neta" a aquest tipus de situacions (només per mencionar un defecte de l'exemple anterior, observeu que res impediria que qualsevol funció accedís i modifiqués la variable *llavor*).

En particular podem usar variables privades de classe :

```
class Random {
   public:
     Random(double ll = 0.0) { _x = ll; };
     double rand() { _x = funcio_complicada(_x); return _x; };
   private:
     static double _x; // variable de classe
}
```

Una altra excepció a la regla són les variables globals que en realitat s'usen com constants globals, però que no són declarades com `const` perquè:

- no poden ser inicialitzades en un únic pas, o
- el seu valor inicial ha de ser calculat algorísmicament, o
- existeix la necessitat de poder efectuar (molt ocasionalment) canvis en el seu valor.

És usual que aquestes variables també s'implementin usant variables de classe privades, per restringir la seva manipulació i impedir en la mesura del que sigui possible usos incorrectes.

G.10 Utilitzar variables locals

Utilitzeu variables locals i eviteu mètodes o funcions amb llargues llistes de paràmetres. No incloeu atributs en un objecte o paràmetres en una operació innecessaris si la seva missió es pot realitzar mitjançant una o més variables locals.

Per exemple, si una classe llista no necessita la noció de punt d'interès llavors és absurd incloure aquest tipus d'atribut per fer un recorregut o posar un punter com paràmetre d'una funció que fa el recorregut iterativament:

```
// usar var. local, NO un atribut _actual!
bool llista::conte(const T& elem) const {
    _actual = _primer;
    while (_actual != NULL and _actual -> info < x) {
        _actual = _actual -> sig;
    }
    return _actual != NULL and _actual -> info == x;
}

// usar var. local, NO un paràmetre 'p'!
bool llista::conte_priv(const T& elem, node* p) {
    while (p != NULL and p -> info < x) {
```

```
13          p = p -> sig;
14      }
15      return p != NULL and p -> info == x;
16  }
17
18  // OK; aquí 'p' no és un punter pel recorregut, en realitat
19  // representa a la sublista que queda por explorar
20  bool llista::conte_rec(const T& elem, node* p) {
21      if (p == NULL) {
22          return false;
23      }
24      if (p -> info >= x)
25          return p -> info == x;
26      }
27      return conte_rec(x, p -> sig);
28  }
```

G.11 Codi ben estructurat

El codi ha de ser estructurat: cada bloc ha de tenir un únic punt d'entrada i un únic punt de sortida. No useu `break`s (només en els `switch`s), `continue`s o `goto`s. No feu `return` dins de l'interior d'un bucle. Useu l'esquema de cerca quan sigui adequat, no un `return` o `break` des de l'interior d'un bucle que fa un recorregut.

Tampoc és un bon estil "trencar" la iteració modificant la variable de control que recorre la seqüència:

```
1  for (i = 0; i < n; ++i) {
2      if (A[i] == x) {
3          i = n;      // Això és un nyap
4      }
5      ...
6  }
```

Les úniques desviacions acceptables respecte a aquesta regla són:

- les excepcions —que, per definició, trenquen immediatament el flux normal d'execució
- els `switch`s, i

- les composicions alternatives (no internes a un bucle) típiques de funcions recursives:

```
if (i > 1) {
    result = x;
}
else if (i == 1) {
    result = y;
}
else {   // if (i ¡ 1)
    result = z;
}
return result;
```

es pot escriure

```
if (i > 1) {
    return x;
}
else if (i == 1)   {
    return y;
}
else {   // if (i ¡ 1)
    return z;
}
```

o fins i tot

```
if (i > 1) {
    return x;
}
if (i == 1) {
    return y;
}
return z;
```

G.12 Bona documentació

Una bona documentació és essencial. La representació d'una classe ha de contenir una explicació detallada de com la implementació concreta representa els valors abstractes i com és aquesta representació (invariant).

Per exemple,

```
class llista {
      ...
  private:
      struct node {
          string clau;
          int valor;
          node* seg;
      };
      ...
      nodo* _primer;
};
```

no ens diu si la llista està implementada mitjançant una llista simplement enllaçada, si està tancada circularment o no, si hi ha o no un node fantasma, si està ordenada o no creixentment pel camp `clau` de cada node, etc. Per tant, s'ha de documentar adequadament la forma en que la representació serà utilitzada.

No comenteu codi autoexplicatiu ni repetiu el que és obvi. Aquí teniu uns quants exemples de comentaris inútils i superflus:

```
// retornem cert si trobat és cert
return trobat;

// incrementem el comptador
cont++;

// inicialitzem a 0 totes les components de 'v'
for (int i = 0; i < n; i++)
    v[i] = 0;
```

Un comentari ha d'aportar informació que no és immediatament evident. Generalment, convé efectuar un comentari general previ sobre el comportament de cada funció o mètode, amb indicacions sobre els punts subtils de la implementació. Eviteu l'ús de comentaris intercalats amb el propi codi, llevat que resultin absolutament imprescindibles. La documentació no és un substitut adequat d'una descomposició funcional correcta, de manera que si la implementació d'un determinat mètode o funció és llarga i complexa, la solució no és posar abundants comentaris sinó descomposar-la en "peces" manejables i autoexplicatives (vegeu els exemples de les seccions G.6 i G.7).

Índex alfabètic