Disseny modular II
Programació 2
Facultat d'Informàtica d'Informàtica, UPC

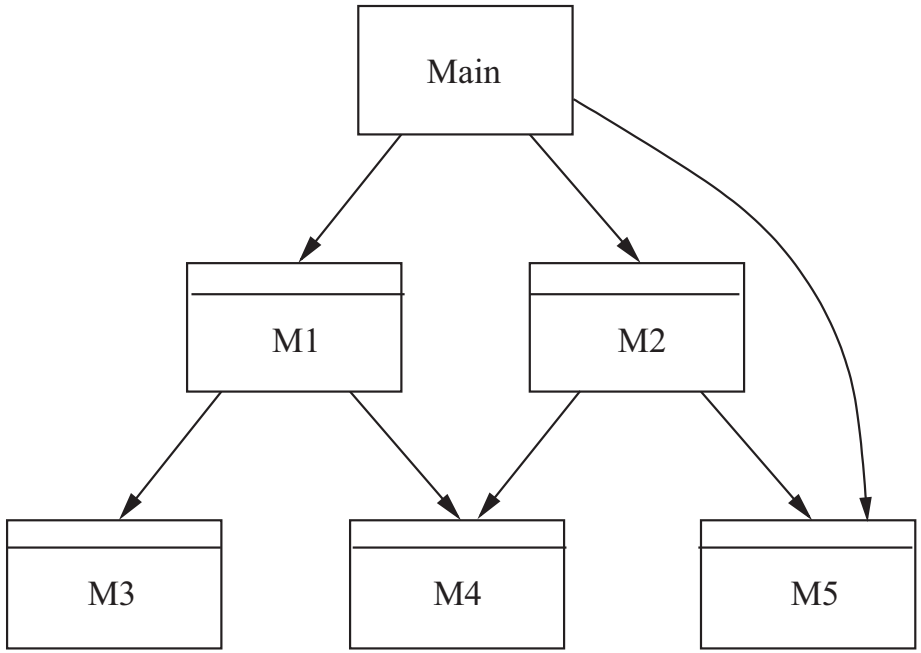
Professorat de PRO2

Primavera 2020

- Colaboracions (en ordre alfabètic): Juan Luis Esteban, Ricard Gavaldà, Conrado Martínez, Fernando Orejas
- Aquestes transparències **no** substitueixen els apunts de l'assignatura, els complementen

Part I

Diagrames modulars



"Jerarquia de classes" en programació OO
Diferents tipus d'arcs per a diferents tipus de relacions
En aquest curs, només relacions d'ús

Diagrames modulars

- Mòdul del programa principal: sense arcs entrants
- Resta mòduls: mòduls de dades o funcionals

- Graf acíclic, no necessàriament un arbre
- “Jerarquia de classes” en programació OO

Relacions entre mòduls

Programa = Conjunt de mòduls relacionats / dependents

Un mòdul pot:

- *definir* un nou tipus de dades, a partir d'altres
- *ampliar/enriquir* un tipus amb noves operacions

Relacions entre mòduls

Programa = Conjunt de mòduls relacionats / dependents

Un mòdul pot:

- *definir* un nou tipus de dades, a partir d'altres
- *ampliar/enriquir* un tipus amb noves operacions

Les relacions d'ús poden ser:

- visibles, en especificació
- ocultes, per una implementació concreta

Exercici: Conjunt d'Estudiants

Volem definir una nova classe `Cjt_estudiants`, per gestionar conjunts d'estudiants

Relació d'ús: Dins de `Cjt_estudiants.hh`

```
#include "Estudiant.hh"
```

Important: per especificar `Cjt_estudiants` no cal saber la implementació de la classe `Estudiant`

Especificació de la classe `Cjt_estudiants`

```
#include "Estudiant.hh"

// Un Cjt_estudiant Representa un conjunt d'estudiants,
// ordenat per DNI creixent amb un màxim nombre d'Estudiants
// Es poden consultar i modificar els seus elements
// (Estudiants) per DNI o per posició en l'ordre
// creixent de DNI

class Cjt_estudiants {
public:
// Constructores

/* Pre: cert */
/* Post: crea un conjunt d'estudiants buit */
Cjt_estudiants();

// Destructora
~Cjt_estudiants();
```

Especificació de la classe `Cjt_estudiants`

```
// Modificadores

/* Pre: el conjunt no conté cap estudiant amb el DNI
        de l'Estudiant 'est'; la mida actual del conjunt
        és menor que la  mida màxima permesa */
/* Post: s'ha afegit l'estudiant 'est' al conjunt  */
void afegir_estudiant(const Estudiant &est);

/* Pre: el conjunt conté un estudiant amb el mateix DNI
        que l'Estudiant 'est' */
/* Post: l'Estudiant 'est' substitueix a l'estudiant del
         conjunt original que tenia el mateix DNI que 'est' */
void modificar_estudiant(const Estudiant &est);
```

Especificació de la classe `Cjt_estudiants`

```
/* Pre: 1 <= i <= nombre d'estudiants en el conjunt,
        l'i-èssim Estudiant del conjunt en ordre creixent
        per DNI té el mateix DNI que 'est' */

/* Post:l'Estudiant 'est' substitueix a l'i-èssim estudiant
        en ordre creixent de DNI del conjunt original */
void modificar_iessim(int i, const Estudiant &est);
```

Especificació de la classe `Cjt_estudiants`

```
// Consultores

/* Pre: cert */
/* Post: el resultat és el nombre d'estudiants del conjunt */
int mida() const;

/* Pre: dni > 0 */
/* Post: torna cert si i només si el conjunt conté un Estudiant
         amb DNI igual al donat (dni) */
bool existeix_estudiant(int dni) const;


/* Pre: el conjunt conté un Estudiant amb DNI = dni */
/* Post: el resultat és l'Estudiant amb DNI = dni
         present en el conjunt */
Estudiant consultar_estudiant(int dni) const;
```

Especificació de la classe `Cjt_estudiants`

```
/* Pre: 1 <= i <= mida del conjunt */
/* Post: torna l'Estudiant i-èssim del conjunt
         en ordre creixent de DNI */
Estudiant consultar_iessim(int i) const;

// Mètode de classe
/* Pre: cert */
/* Post: el resultat es el nombre maxim d'estudiants que
         pot arribar a tenir un Cjt_Estudiant */
static int mida_maxima();
```

Especificació de la classe `Cjt_estudiants`

```
// Lectura i escriptura

/* Pre: cert */
/* Post: el paràmetre implícit conté el conjunt d'estudiants
         llegits del canal estàndard d'entrada */
void llegir();

/* Pre: cert */
/* Post: s'han escrit en canal estàndard de sortida els
         estudiants del conjunt en ordre ascendent per DNI */
void escriure() const;

private:
// elements privats de la classe: atributs,
// mètodes privats, ...
};
```

Part I

Implementació d'una classe

Fases:

- Implementar el tipus: Triar una representació. Definir els atributs amb tipus ja existents
- Implementar les operacions: Codificar les seves operacions en termes d'instruccions
- Pot ser convenient definir mètodes i funcions auxiliars (privades, no visibles des de fora)

Fitxers

Ideal: Separació completa públic i privat

- `.hh`: Capçaleres de les operacions públiques
- `.cc`: Atributs i codi de totes les operacions

Fitxers

Ideal: Separació completa públic i privat

- `.hh`: Capçaleres de les operacions públiques
- `.cc`: Atributs i codi de totes les operacions

Com es fa:

- `.hh` $\Rightarrow$ part `private`: Atributs i capçaleres de operacions privades
- `.hh` $\Rightarrow$ part `public`: Capçaleres de les operacions públiques
- `.cc` $\Rightarrow$ Implementació de les operacions públiques i privades

Exemple: Implementació de la classe `Estudiant`

Fitxer `Estudiant.hh`

```
class Estudiant {
public:

// ...

// Lectura i escriptura
void llegir();
void escriure() const;

private:
int dni;
double nota;
bool amb_nota;
static const int MAX_NOTA = 10;

/* Invariant de la representacio:
   dni >= 0
   si amb_nota llavors 0 <= nota <= MAX_NOTA
*/
};
```

Exemple: Implementació de la classe `Estudiant`

- En aquesta implementació de la classe `Estudiant` no es defineixen mètodes privats
- La constant estàtica `MAX_NOTA` és un atribut de classe

Exemple: Implementació de la classe `Estudiant`

Fitxer `Estudiant.cc`

```
#include <iostream>
#include "Estudiant.hh"
using namespace std;

Estudiant::Estudiant()
/* Pre: cert */
/* Post: crea un estudiant amb DNI=0 i sense nota */
{
    dni = 0; amb_nota = false;
}

Estudiant::Estudiant(int d)
/* Pre: dni>=0 */
/* Post: crea un estudiant amb DNI=d i sense nota */
{
    dni = d; amb_nota = false;
}

Estudiant::~Estudiant() {}
```

Exemple: Implementació de la classe `Estudiant`

```
void Estudiant::afegir_nota(double n)
/* Pre: l'Estudiant no té nota i 0 <= n <= nota_maxima() */
/* Post: la nota de l'Estudiant passa a ser "nota" */
{
    nota = n;
    amb_nota = true;
}

void Estudiant::modificar_nota(double n)
/* Pre: l'Estudiant té nota i 0 <= n <= nota_maxima() */
/* Post: la nota de l'Estudiant passa a ser n */
{
    nota = n;
}

int Estudiant::consultar_DNI() const
/* Pre: cert  */
/* Post: torna el DNI de l'Estudiant  */
{
    return dni;
}
```

Exemple: Implementació de la classe `Estudiant`

```
double Estudiant::consultar_nota() const
/* Pre: l'Estudiant té nota */
/* Post: torna la nota de l'Estudiant */
{
    return nota;
}

double Estudiant::nota_maxima() // aquí no es posa "static"
/* Pre: cert */
/* Post: torna la nota màxima que pot tenir qualsevol Estudiant */
{
    return MAX_NOTA;
}

bool Estudiant::te_nota() const
/* Pre: cert */
/* Post: torna cert si i només si l'Estudiant té nota */
{
    return amb_nota;
}
```

Exemple: Implementació de la classe `Estudiant`

```
void Estudiant::llegir()
/* Pre: el cin conté un enter no negatiu d i un double n */
/* Post: l'Estudiant passar a tenir el DNI d; si n està
         en el rang [0..nota_maxima()] llavors la nota de
         l'Estudiant passa a ser n; altrament l'Estudiant
         es queda sense nota */
{
    cin >> dni;
    double x;
    cin >> x;
    if (x >= 0 and x <= MAX_NOTA) {
       nota = x;
       amb_nota = true;
    } else {
      amb_nota = false;
    }
}
```

Exemple: Implementació de la classe `Estudiant`

```
void Estudiant::escriure() const
/* Pre: cert */
/* Post: s'han escrit en el cout el DNI i la nota de l'Estudiant
         si l'Estudiant té nota, separats per un espai en blanc,
         o bé el DNI seguit de "NP" si l'Estudiant
         no té nota; a més de aquesta informació, a la sortida
         s'ha escrit un salt de línia */
{
    if (amb_nota) cout << dni << " " << nota << endl;
    else cout << dni << " NP" << endl;
}
```

Exercici: implementació alternativa del tipus `Estudiant`

Objectiu: demostrar la independència de la implementació

- Eliminem l'atribut booleà
- Si l'atribut `nota` és `-1`, l'estudiant no té nota

No canviem l'especificació $\rightarrow$ no cal revisar classes que l'usen

Atributs

- Variables o constants de tipus previs
- Sempre els declarem a la part `private`

Atributs

- Variables o constants de tipus previs
- Sempre els declarem a la part `private`

- `const` = és una constant (no modificable)

Atributs

- Variables o constants de tipus previs
- Sempre els declarem a la part `private`

- `const` = és una constant (no modificable)
- `static` = és un atribut de classe (*compartit* per tots els objectes de la classe)
  - S'accedeix amb `classe::atribut` i no `objecte.atribut`

Operacions auxiliars privades

- Útils per a implementar les públiques
- Capçalera a la part `private` del fitxer `.hh`: Només poden ser cridades per un mètode públic o privat de la classe
- Tenen accés als atributs dels objectes de la classe
- Poden ser mètodes (s'apliquen sobre l'objecte propietari) o mètodes de classe (`static`)

Implementació de mètodes públics i privats

Notació: `nom_classe::nom_operacio(...)`

- :: vol dir “No estem implementant una op. nova, sinó la que ja haviem declarat abans”
- lliguem cada operació amb les seva capçalera al corresponent arxiu `.hh`
- dóna el dret d’accedir a la part private de la classe
- tant per a ops. públiques com privades
- en la implementació dels mètodes de classe no es posa `static`

Accés a un camp/atribut

Forma general: `nom_objecte.nom_atribut`

Exemple: `x.c`

Si `x` és un objecte de tipus `T`, llavors `c` ha de ser un atribut de `T`

Accés a un camp/atribut

Casos particulars:

- Quan accedim als atributs de l'objecte implícit en un mètode només s'escriu el nom de l'atribut
  - Ex: `dni` sols es refereix al camp `dni` del paràmetre implícit

Accés a un camp/atribut

Casos particulars:

- Quan accedim als atributs de l'objecte implícit en un mètode només s'escriu el nom de l'atribut
  - Ex: `dni` sols es refereix al camp `dni` del paràmetre implícit

- En alguns casos molt específics necessitem referir-nos explícitament a l'objecte implícit d'un mètode: `this` = el paràmetre implícit = l'objecte propietari.
  Usos:
  - Desambiguar quan en aquell àmbit de visibilitat hi ha una variable amb el mateix nom que un atribut.
  - Pasar el paràmetre implícit com a paràmetre explícit d'una operació
  - En realitat, `this` és un apuntador a l'objecte implícit; l'objecte implícit és `*this`

Exemple: Implementació de `Cjt_estudiants`

Representació i invariant:

- Un atribut de classe constant `MAX_NEST`, que estableix el màxim nombre d'estudiants que pot haver en un conjunt

Exemple: Implementació de `Cjt_estudiants`

Representació i invariant:

- Un atribut de classe constant `MAX_NEST`, que estableix el màxim nombre d'estudiants que pot haver en un conjunt
- Un atribut enter `nest`, el nombre d'estudiants en el conjunt, $0 \leq$ `nest` $\leq$ `MAX_NEST`
- Un atribut `vest` que és un vector de `Estudiant`s, de mida `MAX_NEST` i que estarà ordenat per dni en tot moment
  - els mètodes `afegir_estudiant` i `llegir_cjt_estudiants` seràn més complexos (i costosos en temps) per a garantir que els continguts del vector `vest` estàn ordenats
  - afavoreix la cerca (perquè es pot fer dicotòmica)

Exemple: Implementació de `Cjt_estudiants`

Operacions privades

- Un mètode privat `ordenar_cjt_estudiants`
- Un mètode de classe (`static`) privat `cerca_dicot`, rep explícitament el vector d'Estudiant sobre el qual es fa la cerca

Invariant de la representació

- Propietats dels atributs que ens comprometem a mantenir en la implementació de les operacions
- Queda garantit si només es manipula la representació amb ops. constructores i modificadores
- Implícit com a Pre i Post a totes les operacions
- És bona *praxis* escriure'l junt amb la representació: molt bona documentació!

Invariant de la representació

Classe `Estudiant`

- dni >= 0
- si `(amb_nota)` llavors `(0 <= nota <= MAX_NOTA)`

o be (implementacio sense booleà)

- dni >= 0
- `(nota == -1)` o bé `(0 <= nota <= MAX_NOTA)`

Invariant de la representació

Classe `Cjt_estudiants`

- 0 <= nest <= vest.size() = MAX_NEST,
- tots els estudiants de vest[0..nest-1] tenen dnis diferents,
- vest[0..nest-1] està ordenat creixentment pels DNI dels estudiants

Implementació de classes

Cjt_estudiants.hh

```
class Cjt_estudiants {
   ...
private:
    vector<Estudiant> vest;
    int nest;
    static const int MAX_NEST = 20;

    /*
     Invariant de la representacio:
     * 0 <= nest <= vest.size() = MAX_NEST,
     * tots els estudiants en vest[0..nest-1] tenen DNI
       diferents, i
     * vest[0..nest-1] esta ordenat creixentment pels DNI
       dels estudiants
    */
```

Implementació de classes

Cjt_estudiants.hh

```
class Cjt_estudiants {
   ...
private:
   ...
void ordenar_cjt_estudiants();
/* Pre: cert */
/* Post: els Estudiants del conjunt estan ordenats
         creixentment pels seus DNI */

static int cerca_dicot(const vector<Estudiant> &vest,
                       int left, int right, int x);
/* Pre: vest[left..right] està ordenat creixentment
        per DNI, 0 <= left, right < vest.size() */
/* Post: si a vest[left..right] hi ha un element
         amb DNI = x, el resultat és una posicio que
         el conté; si no, el resultat es -1 */
};
```

Implementació de classes

Cjt_estudiants.cc

```
#include "Cjt_estudiants.hh"
#include <iostream>
using namespace std;

Cjt_estudiants::Cjt_estudiants() {
    nest = 0;
    vest = vector<Estudiant>(MAX_NEST);
}

Cjt_estudiants::~Cjt_estudiants() {}
```

Implementació de classes

Cjt_estudiants.cc

```
void Cjt_estudiants::afegir_estudiant(const Estudiant &est) {
    int dni = est.consultar_DNI();
    int i = nest - 1;
    while (i >= 0 and dni < vest[i].consultar_DNI()) {
        vest[i + 1] = vest[i];
        --i;
    }
    vest[i + 1] = est;
    ++nest;
}
```

Implementació de classes

Cjt_estudiants.cc

```
void Cjt_estudiants::modificar_estudiant(const Estudiant &est) {
    // per la Pre, segur que trobem el DNI d'est com a DNI
    // d'algun element de vest[0..nest-1]; apliquem-hi la cerca
    // dicotomica
    int i = cerca_dicot(vest, 0, nest-1, est.consultar_DNI());
    // i es la posicio amb el DNI d'est
    vest[i] = est;
}

void Cjt_estudiants::modificar_iessim(int i, const Estudiant &est) {
    vest[i-1] = est;
}
```

Implementació de classes

Cjt_estudiants.cc

```
int Cjt_estudiants::mida() const {
    return nest;
}

int Cjt_estudiants::mida_maxima() {
    return MAX_NEST;
}

bool Cjt_estudiants::existeix_estudiant(int dni) const {
    int i = cerca_dicot(vest, 0, nest-1, dni);
    return (i != -1);
}
```

Implementació de classes

Cjt_estudiants.cc

```
Estudiant Cjt_estudiants::consultar_estudiant(int dni) const {
    int i = cerca_dicot(vest, 0, nest-1, dni);
    return vest[i];
}

Estudiant Cjt_estudiants::consultar_iessim(int i) const {
    return vest[i-1];
}
```

Implementació de classes

Cjt_estudiants.cc

```
void Cjt_estudiants::llegir() {
    cin >> nest;
    for (int i = 0; i < nest; ++i) vest[i].llegir();
    ordenar_cjt_estudiants();
    // noteu que l'apliquem sobre el objecte implÃcit
}

void Cjt_estudiants::escriure() const {
    for (int i = 0; i < nest; ++i) vest[i].escriure();
}
```

Implementació de classes

Cjt_estudiants.cc

```
// observem que no hi ha referencia a nest
int Cjt_estudiants::cerca_dicot(const vector<Estudiant> &vest,
                                int left, int right, int x) {
    int i; bool found = false;
    while (left <= right and not found) {
        i = (left + right)/2;
        if (x < vest[i].consultar_DNI()) right = i - 1;
        else if (x > vest[i].consultar_DNI()) left = i + 1;
        else found = true;
    }
    // si l'element buscat existeix, i es la posicio que volem
    if (found) return i;
    else return -1;
}
```

Implementació de classes

```
// ordena el vector d'estudiants per dni creiexentment,
// usant el metode de seleccio
// Es un exemple. Milloraria usant algorismes d'ordenacio
// mes rapids.
void Cjt_estudiants::ordenar_cjt_estudiants() {
   for (int i = 0; i < nest - 1; ++i) {
          int min_dni = vest[i].consultar_DNI();
          int pos_min = i;
          for (int j = i+1; j < nest - 1; ++j)
                 if (min_dni > vest[j].consultar_DNI()) {
                        pos_min = j;
                        min_dni = vest[j].consultar_DNI();
                 }
          Estudiant etemp = vest[i];
          vest[i] = vest[pos_min];
          vest[pos_min] = etemp;
   }
}
```

Observacions

Algunes especificacions poden incloure *anotacions sobre eficiència*, que restringeixen el ventall d'implementacions vàlides

- Especificació #1 de `Cjt_estudiants`,
  - `afegir_estudiant`: "tarda temps proporcional a la mida del conjunt"
  - `existeix_estudiant`: "tarda temps logarítmic en la mida del conjunt"
- Especificació #2:
  - `afegir_estudiant`: "tarda temps constant"
  - `existeix_estudiant`: "tarda temps lineal en la mida del conjunt"

Part I

Ampliacions de tipus de dades

Ampliar un TAD: afegir noves funcionalitats
Mecanismes d'ampliació en OO

1. *Modificar la classe* existent per afegir nous mètodes
2. *Enriquiment* = definir les noves operacions *fora de la classe*
3. *Herència* amb mecanismes del llenguatge (no a PRO2)

Solució 1: Modificar la classe

1. Afegir les capçaleres dels nous mètodes en el fitxer `.hh`
2. Implementar els nous mètodes en el fitxer `.cc`

Pro : Sovint més eficient

Con : Cal tenir accés *i entendre* la implementació original

Solució 1: Modificar la classe

1. Afegir les capçaleres dels nous mètodes en el fitxer `.hh`
2. Implementar els nous mètodes en el fitxer `.cc`

Pro : Sovint més eficient

Con : Cal tenir accés *i entendre* la implementació original

Addicionalment, pot modificar-se la representació del tipus (per poder soportar eficientment els nous mètodes) i això pot significar modificar el codi de les operacions ja existents

Solució 2: Definir operacions *fora de la classe*

- No es modifica ni l'especificació ni la implementació de la classe original
- En un mòdul funcional nou (.hh i .cc), o en la classe que les usa
- Accions i funcions convencionals, no són mètodes

Solució 2: Definir operacions *fora de la classe*

Avantatges:

- No cal tenir permís per modificar classe original
- No engreixa la classe original amb mètodes d'ús puntual
- No cal canviar el codi de les ops si canviés la implementació (només s'usen els mètodes públics)

Inconvenients:

- Possible ineficiència
- Incongruència amb el disseny OO

Com triar entre Solució 1 i Solució 2?

Solució 1:

- Si són ops. essencials al significat del tipus, generals i potencialment útils en moltes situacions (reusables)
- Quan solucioni problemes d'eficiència de la Solució 2

Solució 2:

- Quan només s'apliquen a un problema particular i no sembla que es pugui reutilitzar en altres contextes
- Quan cal evitar que la classe original creixi desmesuradament; potser s'ha de plantejar un redisseny de les classes i introduir-ne noves classes

Exemple: Ampliació de `Cjt_estudiants`

Volem afegir a `Cjt_estudiants` operacions per a:

- donat el DNI d'un estudiant *que sabem que és al conjunt*, esborrar-lo del conjunt
- sabent que el conjunt no és buit, obtenir l'estudiant de nota màxima

Solució 1: Modificar la classe

```
class Cjt_estudiants {
public:
...
void esborrar_estudiant(int dni);
/* Pre: el conjunt conté un estudiant amb DNI = dni */
/* Post: el conjunt conté els mateixos estudiants que
   l'original menys l'estudiant amb DNI donat */
...
Estudiant estudiant_nota_max() const;
/* Pre: el conjunt conté almenys un estudiant amb nota */
/* Post: el resultat és l'estudiant del conjunt amb
   nota màxima; si en té més d'un, és el de dni més petit */

};
```

Solució 1: Modificar la classe. Nou .hh

```
...
private:
      vector<Estudiant> vest;
      int nest;
      static const int MAX_NEST = 60;
      int imax;   /* Aquest atribut és nou */

      /* Invariant de la representacio:
      ...
      imax val -1 si cap estudiant té nota, i altrament
      conté l'index més petit en vest d'un estudiant amb
      nota màxima */
```

Solució 1: Modificar la classe

- Creadores: `imax` s'inicialitza a -1
- Segueix sent -1 mentre cap estudiant del conjunt té nota
- `afegir_estudiant`: s'actualitza `imax`, si cal
- Idem amb `modificar_estudiant` i `modificar_iessim`
- `estudiant_nota_max()`: retorna `vest[imax]`
- `afegir_estudiant` i `estudiant_nota_max` ténen temps constant=independent del nombre d'estudiants en el conjunt
- `modificar_estudiant` i `modificar_iessim` podem necessitar un recorregut del vector sencer per a actualitzar `imax`

Solució 1: Modificar la classe

```
/* Pre: el conjunt conté un estudiant amb DNI = dni */
/* Post: el conjunt conté els mateixos estudiants
   que l'original menys l'estudiant amb DNI dni */
void Cjt_estudiants::esborrar_estudiant(int dni) {
        // la pre garanteix que trobarem un estudiant
        // amb DNI dni
    int i = cerca_dicot(vest,0,nest-1,dni);

    for (int j = i; j < nest-1; ++j) vest[j] = vest[j+1];
    --nest;
    if (i == imax) recalcular_posicio_imax();
    else if (imax > i) --imax;
```

Solució 2: Definir mètodes *fora de la classe*

Nou fitxer `E_Cjt_estudiants.hh`

```
#include "Estudiant.hh"
#include "Cjt_estudiants.hh"

void esborrar_estudiant(Cjt_estudiants &Cest, int dni);
/* Pre: Cest conté un estudiant amb DNI = dni */
/* Post: Cest conté els mateixos estudiants que el seu
         valor original menys l'estudiant amb DNI dni */

Estudiant estudiant_nota_max(const Cjt_estudiants& Cest);
/* Pre: Cest conté almenys un estudiant amb nota */
/* Post: el resultat és l'estudiant de Cest amb nota màxima;
         si en té més d'un, és el de dni més petit */
```

Solució 2: Definir mètodes *fora de la classe*

```
#include "E_Cjt_estudiants.hh"

/* Pre: Cest conté un estudiant a Cest amb DNI = dni */
/* Post: Cest conté els mateixos estudiants que el seu
         valor original menys l'estudiant amb DNI = dni */
void esborrar_estudiant(Cjt_estudiants &Cest, int dni) {
    Cjt_estudiants Cestaux;
    int i = 1;
    while (dni != Cest.consultar_iessim(i).consultar_DNI()) {
        Cestaux.afegir_estudiant(Cest.consultar_iessim(i));
        ++i;
    }
    // per la pre, segur que trobarem a Cest un estudiant
    // amb DNI = dni; en aquest punt del programa, aquest
    // estudiant és Cest.consultar_iessim(i);
    // ara hem d'afegir els elements següents a Cestaux
    for (int j = i+1; j <= Cest.mida(); ++j)
        Cestaux.afegir_estudiant(Cest.consultar_iessim(j));
    Cest = Cestaux;
}
```

Solució 2: Definir mètodes *fora de la classe*

```
/* Pre: Cest conté almenys un estudiant amb nota */
/* Post: el resultat és l'estudiant de Cest amb nota màxima;
   si en té més d'un, és el de dni més petit */
Estudiant estudiant_nota_max(const Cjt_estudiants &Cest) {
    int i = 1;
    while (not Cest.consultar_iessim(i).te_nota()) ++i;
    int imax = i; ++i;
    // per la pre, segur que trobarem a Cest un estudiant
    // amb nota; imax n'és el primer; comprovem la resta
    while (i <= Cest.mida()){
        if (Cest.consultar_iessim(i).te_nota())
            if (Cest.consultar_iessim(imax).consultar_nota() <
                    Cest.consultar_iessim(i).consultar_nota())
                imax = i;
        ++i;
    }
    return Cest.consultar_iessim(imax);
}
```

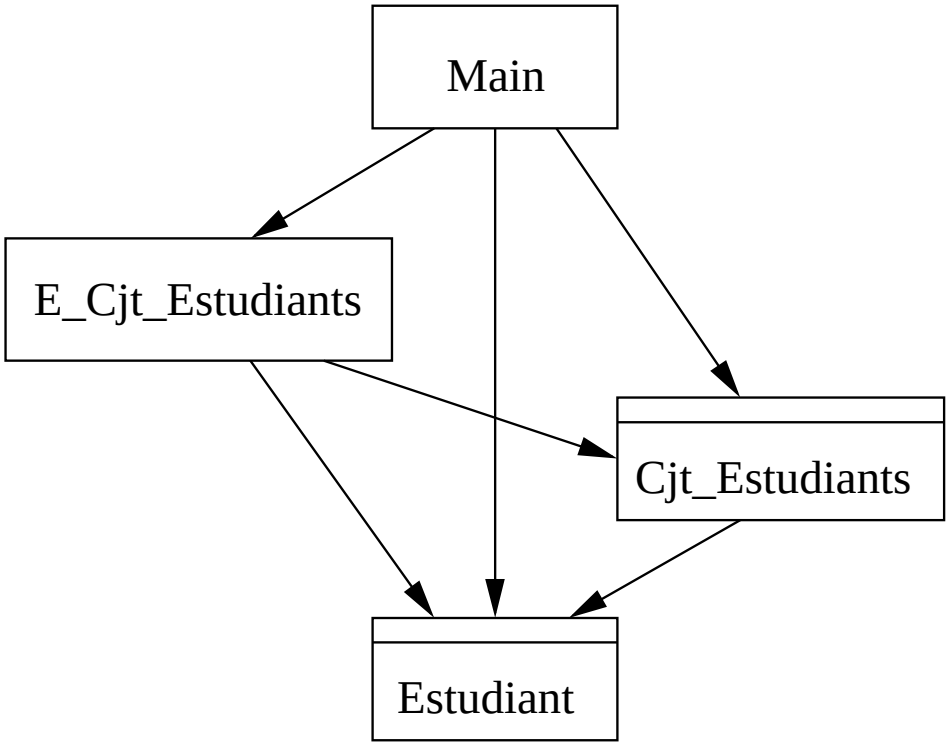
Solució 2: Definir mètodes *fora de la classe*

Observació:

- `estudiant_nota_max()` temps lineal (no constant)
- `esborrar_estudiant` lineal com abans, però més lenta

Diagrama modular

Un hipotètic programa principal que usa les dues operacions de `E_Cjt_estudiants`



Part I

Biblioteques

Col.leccions de mòduls que amplien el llenguatge

La *Standard C++ Library* ofereix una gran varietat de mòduls funcionals i de dades com ara `iostream`, `string`, `cmath`,...

Standard Template Library (STL)

- La STL és un subconjunt de la biblioteca estàndar de C++. Inclou mòduls funcionals i de dades *genèrics*
- *Template* = plantilla
- Classes i funcions genèriques : classes i funcions amb tipus com a paràmetres Exemples:
  - Programació 1: `vector<T>`
  - Programació 2: `queue<T>`, `stack<T>`, `list<T>`

Templates

Una funció genèrica

```
template <typename T>
T minim(const vector<T>& v)
/* Pre: v és un vector no buit de T's; hi ha un ordre '<'
        total predefinit sobre els elements de tipus T */
/* Post: retorna l'element més petit de v */
{
   T mn = v[0];
   for (int i = 1; i < v.size(); ++i)
      if (v[i] < mn) mn = v[i];
   return mn;
}
```

Templates

Ús d'una funció genèrica

```
vector<int> v(100);
int m = minim(v);
//      ↑↑↑ crida a minim amb T=int
vector<string> words;
string smallest = minim(words);
//       ↑↑↑ crida a minim amb T=string
vector<Estudiant> vest;
Estudiant mest = minim(vest);
// falla perquè '<' no està definit
// per a T=Estudiant!
```