Pràctica

Mario PRO2 (2025 Primavera)

Mario PRO2 és una pràctica a on l'objectiu és programar noves funcionalitats en un joc ja començat.

La preparació de la pràctica (li direm la *Part 0*) és estudiar amb detall el codi donat, i experimentar amb ell per familiaritzar-s'hi al màxim. L'examen final de PRO2 tindrà un problema sobre la pràctica i és basarà en l'estructura del codi inicial donat i en classes amb especificació que es desenvolupin posteriorment.

Després de la "Part 0", hi ha les 3 parts pròpiament dites a desenvolupar:

- **Part 1**: Una classe (un objecte del joc) a partir d'uns requisits.
- **Part 2**: La classe `Finder`, amb una especificació donada i que resol un problema d'eficiència en el joc.
- **Part 3**: Almenys 2 classes més que implementin noves idees en el joc, o bé eines relacionades amb el joc.

El projecte tindrà 3 entregues, una per a cada part. Cada entrega és incremental i s'acumula per a la següent. La última entrega és el joc acabat. Després de la segona entrega, els professors de laboratori revisaran amb cada alumne l'estat del projecte a la classe de laboratori.

La "Part 0" té un doble propòsit:

- Ser una explicació del codi inicial de la pràctica; i
- Servir com a guió de la **sessió L9** de laboratori, d'introducció a la pràctica.

Per a aquest segon propòsit, en el text hi ha **exercicis intercalats** que pretenen augmentar la comprensió sobre el projecte i fer les primeres modificacions per agafar confiança amb el codi mentre teniu el professor de laboratori a mà.

Part 0: Estudiar el projecte donat (= Sessió L9)

L'arxiu del projecte inicial del Mario PRO2 es pot descarregar en el botó següent:

`mario-pro2.tgz`

Per poder entendre el codi que es proporciona, cal llegir el programa i esbrinar com funciona tot. Com més clara estigui l'estructura del projecte i a on està implementada cada funcionalitat, més fàcil serà el desenvolupament.

Excepte la classe `Window` (fitxers `window.cc` i `window.hh`), i el fitxer `fenster.h` que l'acompanya (que tenen codi complex de gestió de finestres en Windows, Linux i MacOS), la resta del codi no té gairebé res que no s'hagi estudiat abans, ja sigui a PRO1 o a PRO2. Una petita part del que cal saber es farà durant la segona part de PRO2, com és el treball amb punters.

Compilació

Descomprimeix el projecte en una carpeta apart i obre VSCode en la carpeta. Tot hauria d'estar preparat perquè al prémer **F5** el projecte es compili i s'executi. Ha de sortir la finestra del joc sola.

Per altra banda, des d'un terminal, tens aquestes altres possibilitats:

- `make clean`, que esborra tots els fitxers intermitjos (`*.o` i l'executable).
- `make tgz`, que crea un `tgz` amb el projecte, per si vols guardar la versió actual. El fitxer creat per `tgz` es numera amb l'*epoch* del moment (un número de segons molt gran), de tal manera que no pots sobreescriure un altre `tgz` que tinguis i que sigui anterior, perquè tindrà un *epoch* diferent. Recomanem fer `make tgz` amb certa freqüència i guardar els fitxer en un lloc segur per no perdre versions de la pràctica i poder recuperar versions anteriors en cas d'emergència.
- `make MODE=release`, aquesta comanda construirà una versió optimitzada del joc, que és possible que tingui més velocitat. Abans de cridar `make` amb el mode "release" cal fer `make clean` primer, per tal d'esborrar els fitxers objecte (`.o`) sense optimitzar.

Arquitectura del projecte

Per una banda hi ha el codi que *no cal llegir ni estudiar*:

- `Window`: la classe vista a les pràctiques de principi de curs.
- `fenster.h`: el fitxer de capçalera que `Window` utilitza internament.

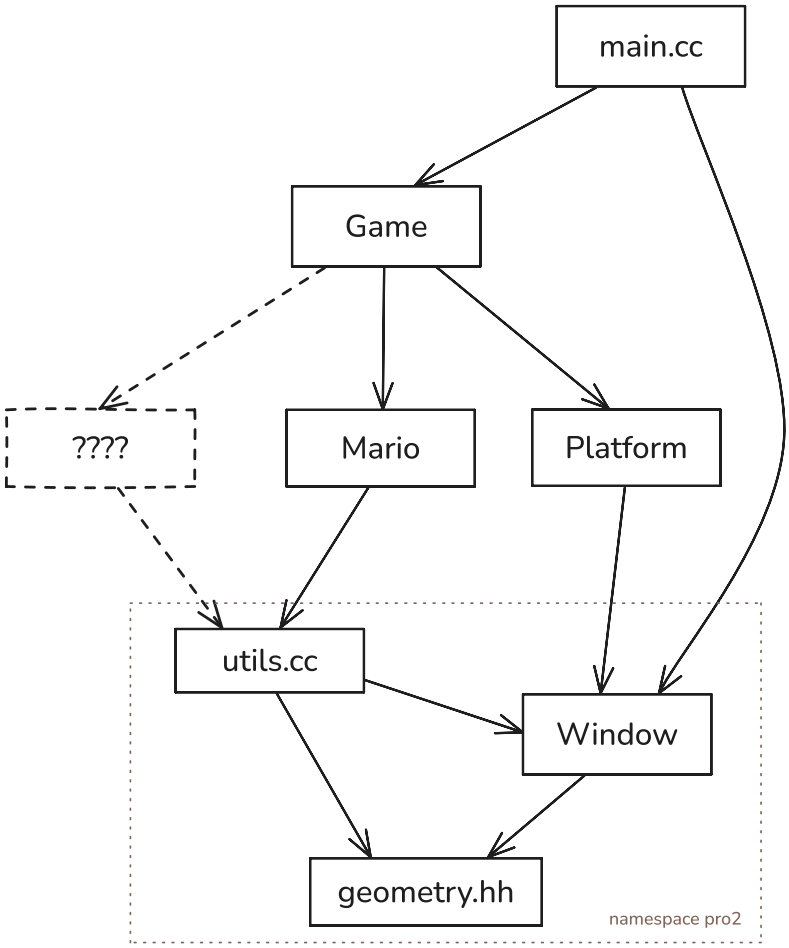
Després tenim el codi que cal llegir i entendre i que conté els mòduls següents:

- `geometry.hh`: que només declara les dues tuples `Pt` (un punt 2D) i `Rect` (un rectangle 2D).
- `utils.{hh,cc}`: funcions útils ja implementades.
- `Platform`: l'objecte plataforma que apareix al joc.
- `Mario`: el personatge del Mario que apareix al joc.
- `Game`: la clase que gestiona el joc sencer.
- `main.cc`: el programa principal, amb el bucle principal del joc.

Els 3 primers mòduls estan a l'espai de noms (o `namespace`) anomenat `pro2`. Per tant, per fer servir les classes i funcions d'aquests mòduls cal: o bé prefixar el nom de la

classe amb `pro2::` (en fitxers `.hh`); o bé posar `using namespace pro2;` (en fitxers `.cc`).

El següent diagrama mostra les relacions de dependència entre mòduls. Una fletxa des d'un mòdul `A` a un mòdul `B` indica que `A` *utilitza* `B`.



El diagrama fa palès que els 3 mòduls de baix de tot són la base sobre la que es construeix el joc (i alhora són els que pertanyen a l'espai de noms `pro2`). Després hi ha `Game`, que implementa la funcionalitat del joc. `Game` utilitza `Mario` i `Platform` perquè té membres privats que són el personatge principal i un `vector` de `Platform`s que són les plataformes del joc. El diagrama mostra, també, quina posició ocuparia una classe nova (de nom `????`) que representi algun objecte del joc (o bé la classe `Finder` que caldrà fer a la segona part).

Bucle principal

El programa sencer es basa en un bucle principal, molt típic dels jocs, en què es va creant una "pel·lícula interactiva" a base d'anar pintant fotogrames i simulant què passa entremig de dos fotogrames consecutius en funció de les tecles premudes, el ratolí, i les pròpies regles del joc.

El bucle és el següent:

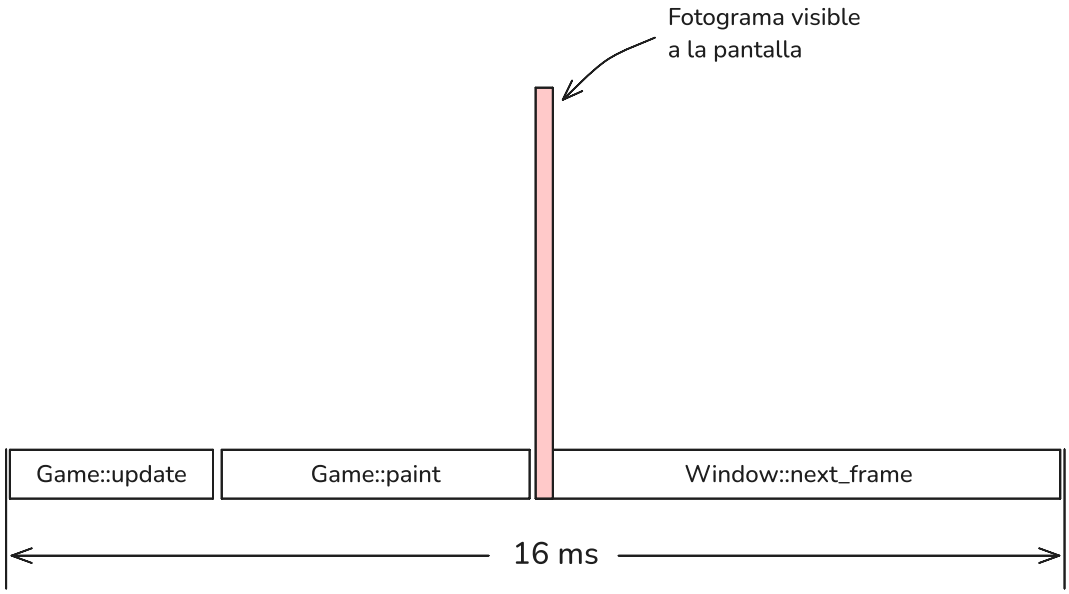
1. S'espera fins el proper fotograma (`window.next_frame()`).
2. Si el joc s'ha acabat o bé s'ha tancat la finestra, se surt del bucle.
3. `update`: S'actualitza l'estat del joc, és a dir, es fa la simulació de moviments i tots aquells canvis que hi hagi hagut durant el temps entre l'últim fotograma i l'actual.
4. `paint`: Es pinta l'estat del joc a la pantalla.
5. Es torna al pas 1.

La classe `Game` té, precisament, dos mètodes anomenats `update` i `paint` que es corresponen amb els passos 3 i 4, i també `is_finished` que decideix parcialment si el joc ha finalitzat.

El codi del bucle és, exactament:

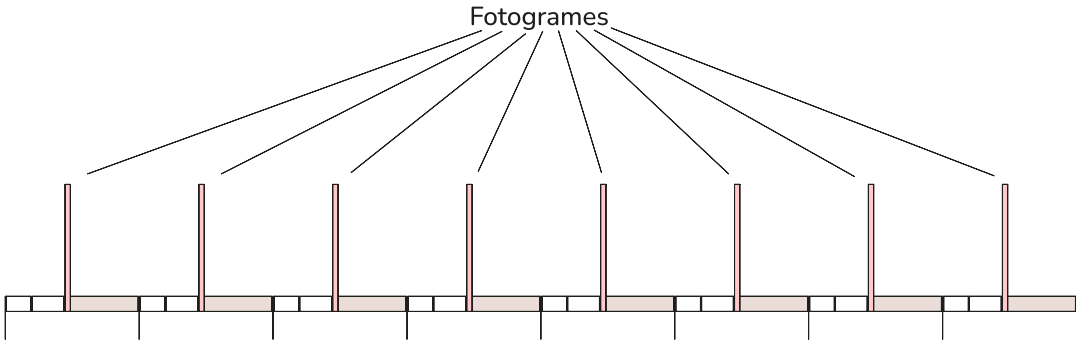
```
while (window.next_frame() && !game.is_finished()) {
    game.update(window);
    game.paint(window);
}
```

Un diagrama sobre els passos per pintar un sol fotograma pot ajudar a entendre-ho millor:



En el diagrama el temps és l'eix horitzontal i creix cap a la dreta. En essència, `Window::next_frame` fa visible el fotograma inmediatament, i tot seguit s'espera una quantitat de temps que es calcula amb respecte a la última crida a `Window::next_frame`, per tal de poder ajustar el temps entre fotogrames, que sol ser de 16ms. Aquests 16 milisegons donen lloc a la freqüència necessària per produir 60 fotogrames per segon (1000ms / 60 fotogrames). 60 FPS es considera l'estàndar perquè hi hagi sensació de fluidesa suficient en un joc.

La seqüència de fotogrames, doncs, seria una repetició d'aquest patró:



`Game::update`

El mètode `Game::update` té una estructura que ha de resultar entenedora:

```
void Game::update(Window& window) {
    process_keys(window);
    update_objects(window);
```

```
    update_camera(window);
}
```

Primer es processen les tecles (`Game::process_keys`) que s'han premut entre el fotograma anterior i l'actual. `Window` té mètodes per determinar quines són. La implementació de `Game::process_keys` només detecta la tecla "Escape" i això és el que `Game` fa servir per indicar al programa principal que el joc s'ha acabat.

> **Exercici 0.1**: Fes els canvis necessaris al codi del projecte que permeti pausar el joc amb la tecla 'P', i tornar-lo a engegar tornant a prémer 'P'. Pausar el joc vol dir que l'acció queda congelada en el mateix fotograma permanentment, fins que no es torni a posar en marxa. Això implica que no s'actualitzen els objectes ni la càmera, però sí que se segueix pintant el joc (i es processen les tecles!). Els canvis en aquest exercici són: a) afegir un camp nou a la classe `Game`, i modificar un o més mètodes existents.

Després el mètode `Game::update_objects` crida el mètode `update` de cada objecte que hi ha al joc. Això és una manera de delegar la feina a cada objecte particular. Els objectes del joc que necessiten `update` són aquells que no són estàtics i canvien de posició o tenen animacions, com ara el `Mario`. En canvi, com que les plataformes són fixes, no tenen mètode `update` i `Game` no necessita cridar-lo.

> **Exercici 0.2**: Fes els canvis necessaris (de nou afegir membres i canviar mètodes) per tenir un altre `Mario` al joc. Abans de fer-ho, pensa bé si es tracta d'una nova classe o d'un nou objecte! Posa'l com a membre de la classe `Game` amb nom `mario2_`. Inicialitza'l amb una coordenada x uns 30 píxels a l'esquerra del `mario_` principal. Busca els llocs a on apareix el primer `Mario` i fes les mateixes crides als mateixos mètodes que els que es fan amb `mario_`. Abans de provar-ho, què penses que succeirà quan executis? Els dos Marios són independents? Ja tenim un joc per a dos jugadors?

En general, per afegir qualsevol objecte al joc, doncs, el mínim que cal fer és posar-lo com a membre de la classe `Game` i afegir les crides a les operacions `update` i `paint` corresponents dins dels mètodes `Game::update` i `Game::paint`.

> **Exercici 0.3 (dificultat mitjana)**: Fes que `mario2_` es pugui controlar amb tecles diferents que `mario_`. Caldria primer modificar la classe `Mario` de la següent manera. Primer cal que `Mario` pugui guardar les 3 tecles que el controlen en camps privats, que es poden dir `jump_key_`, `left_key_`, i `right_key_`. En el projecte inicial, les tecles són fixes i són l'espai i les fletxes d'esquerra i dreta. Pel `mario2_` cal que siguin "W" per saltar, "A" per l'esquerra i "D" per la dreta (això permet jugar a dues persones). Fixa't que pots passar un caràcter als mètodes `Windows::is_key_pressed` i `Window::was_key_pressed` perquè es fan servir els codis ASCII.
>
> Els valors d'aquestes 3 tecles s'haurien de passar al constructor de `Mario` i allà guardar-les en els 3 camps privats. Després cal anar al codi que comprova les tecles que s'han premut i treure els valors fixos i posar-hi els camps privats, que tenen les tecles passades en el constructor. Finalment, en el constructor de `Game`, caldria construir `mario_` amb unes tecles i `mario2_` amb unes altres. Fet això dues persones poden jugar al joc. Un moment... i la càmera?? Què passa amb la càmera??

La càmera

Seguint amb `Game::update`, un cop actualitzats tots els objectes al mètode `Game::update_objects`, hi ha una crida a `Game::update_camera`. Aquí és important explicar amb més detall què és la càmera i com funcionen les coordenades en el joc.

El joc fa servir un sistema de coordenades absolut, amb coordenades enteres i amb l'eix x creixent cap a dreta (com en matemàtiques), però l'eix y **creixent cap a baix** (al revés que en matemàtiques). Malgrat aquest sistema de coordenades és força confús per algú que ha estudiat matemàtiques primer, el món dels videojocs i els sistemes de finestres han fet servir aquesta convenció des del principi i s'ha anat consolidant amb el temps.

Així doncs, els objectes del joc poden tenir coordenades enteres arbitràries, tant negatives com positives, i el que determina si són visibles o no és el fet que `Window` té una "càmera", que no és més que el **subrectangle visible** per la pantalla en un moment donat.

És a dir, l'espai a on poden residir els objectes és il·limitat (tot el pla bidimensional), però `Window` només pot mostrar una petita part d'aquest espai, delimitada per un rectangle d'alçada i amplada iguals que la finestra i amb una posició concreta en l'espai bidimensional sencer. A aquest rectangle li diem la "càmera", ja que per tal que el jugador vegi el `Mario` en tot moment, la càmera ha de seguir la seva posició i fer els moviments que calguin per tenir-lo sempre visible.

Per tant, `Game::update_camera` determina si `Mario` està massa aprop dels límits de la pantalla (tant horitzonal com verticalment) i desplaça la càmera cridant a `Window::move_camera`, que no mou la "càmera" instantàniament, sinó que distribueix el moviment en uns quants fotogrames, per tal que sigui més suau.

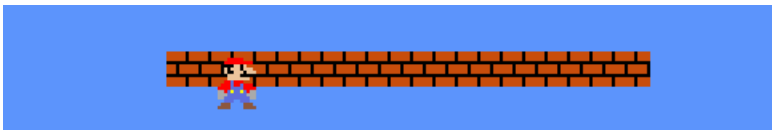
> **Exercici 0.4**: Simplifica el codi de `Game::update_camera` per tal que la càmera sempre tingui al `Mario` al centre de la pantalla. Es tracta de demanar la posició del `Mario`, la posició central de la càmera, i cridar `Window::move_camera` indicant la distància entre la càmera i el `Mario`. Executa el joc i prova a saltar a les plataformes. Et sembla que la càmera té un moviment bo per jugar?

`Game::paint`

El mètode `Game::paint` és el que fa servir les funcions de pintat de `Window` per pintar tots els píxels del joc. L'**ordre** en què es pinta cada objecte és molt important, perquè si dos objectes A i B se solapen en l'espai (com ara el `Mario` atravessant una plataforma de baix a dalt), pintar A i després B implica que B es veurà en primer pla, i A es veurà al seu darrere.

> **Exercici 0.5**: En aquest exercici farem servir les utilitats del mòdul `utils.hh` anomenades `paint_hline` i `paint_vline` que pinten una línia horitzontal i una línia vertical, respectivament. Es tracta de d'afegir codi a `Game::paint` per dibuixar un requadre al marc de la pantalla, però en comptes de posar coordenades fixes i que el requadre sembli que està en el món del `Mario`, cal que el requadre es mogui amb la càmera i sembli que realment és un requadre que es mou amb la pantalla. Pinta el requadre l'últim de tots o bé just després de `window.clear(...)` per veure la diferència. (En aquest exercici hauràs de buscar-te tu mateix els mètodes que et permetin fer el que es demana!)

Per exemple, en la següent imatge, en què `Mario` està atravessant una plataforma desde sota, es veu com cal pintar el `Mario` després de la plataforma perquè surti en primer pla.



El codi de `Game::paint` efectivament pinta el `Mario` (cridant a `Mario::paint`) en últim lloc.

Exercici 0.6: Afegeix una funció a `util.cc` que es digui `paint_rect`, que rebi un rectangle (de tipus `Rect`) i un color i pinti tots els píxels del rectangle del color (mira primer `paint_hline` o `paint_vline` com a inspiració). Recorda declarar la funció a `utils.hh`!

Exercici 0.7: Utilitzant `paint_rect`, pinta un rectangle de color groc al mig de la pantalla a sobre de tots els altres objectes. Prova també de posar el rectangle al fons de tot, per sota inclús de les plataformes.

Exercici 0.8: Com faries perquè el rectangle groc fes pampallugues, és a dir, que aparegués i desaparegués ràpidament en seqüència?

Ho has entès tot?

Arribats aquí, cal que **revisis la llista de preguntes d'aquí sota**, i t'autoavaluïs, per veure si les pots contestar. Això et demostrarà si has entès l'estructura del joc i veus com poder-hi fer modificacions pel teu compte, un pre-requisit per poder començar la **Part 1**.

- Què hi ha a cada fitxer del projecte.
- On està el bucle principal del joc i com funciona.
- Com són les tuples `Pt` i `Rect` i què representen.
- On es creen els objectes del joc.
- On està el codi que pinta cada objecte del joc.
- Perquè serveix el mètode `Game::update`.
- Quina tecla acaba el joc.
- Com se sap si el joc ha acabat.
- On està el codi que mou la càmera.
- Com es canvia: el tamany de la finestra, el número de píxels reals per cada píxel del joc (el "zoom"), o els fotogrames per segon.
- Com afegir plataformes al joc.
- Es pot canviar el tamany d'una plataforma un cop creada?
- On s'han d'afegir objectes nous al joc.
- On posar detecció de tecles.
- Com canviar la textura de les plataformes.
- Com canviar la força de la gravetat amb què el `Mario` cau.
- Com canviar la direcció en la que mira el `Mario` quan prems les fletxes horitzontals.
- Com s'aconsegueix que el `Mario` miri cap a una banda o cap a l'altra.
- Quines variables i mètodes estan involucrats en el fet que el `Mario` pugui saltar i com s'aconsegueix.

Cada una d'aquestes preguntes no és només una qüestió conceptual, sinó que la millor resposta és saber fer modificacions al codi que demostren que teniu controlat aquell aspecte del joc.

Part 1: Un nou tipus d'objecte

Es tracta de fer un nou tipus d'objecte que el `Mario` pugui recollir. El joc original tenia monedes, però pot ser qualsevol altra cosa.

Els requeriments d'aquest objecte són:

1. Que n'hi pugui haver molts en el joc, en llocs accessibles (o no tant!).
2. Que quan el `Mario` passa pel damunt els agafi implícitament i per tant, desapareguin de la pantalla.
3. Que es tingui un comptatge de quants objectes s'han agafat. Donat que el codi inicial no proporciona utilitats per mostrar text, no cal mostrar el comptatge per pantalla textualment.
4. Que tinguin una animació senzilla. Poden "flotar" en l'aire amb moviments verticals de tipus sinusoidal, o bé rotar (cosa que implica fer "sprites" diferents i anar-los mostrant consecutivament), o qualsevol altra cosa que atregui l'atenció del jugador.

> **ENTREGA 1**: Cal fer una classe nova pel nou tipus d'objecte, tal com s'ha explicat, i estructurar-la de tal manera que encaixi perfectament amb la resta del joc. Com ha passat amb els exercicis de la Part 0, es pot modificar la classe `Game` i afegir-hi dades noves o mètodes nous (tot i respectant la lògica actual), apart de fer la nova classe.

La primera entrega es farà al Racó i la data límit serà l'**11 de Maig de 2025**.

Part 2: Eficiència

Aquesta part comença amb una constatació molt trista, i és que el joc **no és prou ràpid**: si posem uns pocs centenars de plataformes (cosa totalment normal en un joc com Déu mana), els FPS cauen en picat, perquè, mantenint la forma actual del joc, resulta que es pinten tots els objectes *inclús si no estan visibles a la pantalla*.

> **Exercici 2.1**: Afegeix milers de plataformes al joc i comprova com el joc es torna tant lent que no es pot jugar.

Per tant, o bé fem alguna cosa o el projecte s'acabaria aquí... nooooo!

Que no cundeixi el pànic... el que farem és introduïr una nova classe que ens permetrà només pintar a la pantalla aquells objectes que són visibles, ja sigui total o parcialment. D'aquesta manera, encara que el "mapa" del nivell sigui enorme (amb milers de plataformes), com que en un moment donat només n'hi ha visibles unes quantes (màxim 50, com a molt estirar), llavors el joc funcionarà perfectament.

La classe que volem hauria de tenir la següent funcionalitat:

1. Serà un **contenidor**, és a dir, contindrà objectes (del joc). Però només contindrà els punters als objectes, no els objectes en sí. Això és important perquè la classe `Game` ja té els seus contenidors (ara mateix un `vector<Platform>` per guardar les plataformes), i ja ens va bé. Només volem un altre contenidor que ens resol el problema dels rectangles.
2. Farà la suposició que els objectes que es posin al contenidor **tenen un mètode** `get_rect()`, que retorna un `Rect`. Això és perquè, independentment del tipus d'objecte que tinguem, si aquest objecte té el mètode `get_rect`, el nostre contenidor

ja es podrà espabilar i classificar els rectangles d'alguna manera, sense haver de conèixer els altres detalls.

3. Tindrà 4 mètodes: afegir, esborrar, actualitzar i consultar. Aquests mètodes permetran:
   - Afegir un objecte al contenidor.
   - Esborrar un objecte del contenidor.
   - Actualitzar un objecte que ja estava al contenidor, que vol dir actualitzar el seu rectangle, realment.
   - I finalment, el mètode més important: **consultar els objectes de dins el contenidor que estiguin dins d'un cert rectangle**. Aquest mètode el cridarem amb les coordenades de la càmera per saber quins objectes són visibles.

A aquesta classe li direm `Finder`, i tindrà la següent declaració:

```
template <typename T>
class Finder {
    // ...
public:
    Finder() {}

    void add(const T *t);
    void update(const T *t);
    void remove(const T *t);

    /**
     * @brief Retorna el conjunt d'objectes amb rectangles
     *        total o parcialment dins de `rect`.
     *
     * Si el nombre de rectangles del contenidor és `n`, el
     * cost de l'algorisme ha de ser O(log n).
     *
     * @param rect El rectangle de cerca
     *
     * @returns Un conjunt de punters a objectes que tenen un
     *          rectangle parcial o totalment dins de `rect`
     */
    std::set<const T *> query(pro2::Rect rect) const;
};
```

Serà un `template` ja que ens agradaria tenir un `Finder` per a cada tipus d'objecte (caldrà un `Finder` diferent per a cadascún, de fet). La única cosa que cal que tingui el tipus `T`, que són els elements de dins del `Finder` és el mètode `get_rect` esmentat (que `Platform` ja té, si mireu).

ENTREGA 2A: Als voltants del dia 8 de Maig sortirà un entregable al Jutge per poder enviar la classe `Finder` i que aquesta sigui comprovada pel Jutge, de forma que es tingui una certesa major sobre la seva correctesa i sobretot *eficiència*. Aquesta entrega es correspòn al D2 es farà al Jutge mateix, tal com amb el D1.

ENTREGA 2B: Caldrà modificar el projecte per fer servir el `Finder` amb els objectes que hi ha al joc (tots?) i comprovar que amb milers d'objectes tot funciona sense

problemes i de forma fluïda. Pensa bé a on convé que estigui i si cal un o més `Finders`. Aquesta entrega es farà al Racó, tal com la primera.

La data límit d'aquesta segona entrega serà el dia **25 de Maig de 2025**.

Part 3: Acaba el joc com més t'agradi

La tercera entrega, la final, serà una entrega que "acabi" el joc de la manera que més gràcia us faci. Aquesta part és lliure intencionadament, perquè es tracta d'implementar funcionalitat nova a sobre de l'estructura establerta, i que cadascú sigui lliure d'avançar en la direcció que més li interessa. Es poden copiar característiques de jocs coneguts (del propi `Mario`, es clar), inventar noves idees encara que siguin molt boges, i en general experimentar i treballar els temes estudiats a PRO2 en un entorn en el qual la mandra no ens desconcentri. També és important que cadascú faci una cosa personal i que els projectes siguin diferents entre sí.

Les úniques restriccions a la tercera entrega són:

1. Que es facin *almenys* dues classes noves (se'n poden fer més).
2. Fer servir algun contenidor dels estudiats a la segona part de PRO2, potser fent-hi modificacions per adaptar-lo als requeriments del que es vol implementar en el joc. (Aquest contenidor no compta dins de les dues classes noves a no ser que sigui molt diferent dels explicats.)
3. Enviar un petit vídeo, de 10 o 20 segons, amb un moment del joc en funcionament.

Una cosa força necessària a la Part 3 és *consensuar amb el vostre professor de laboratori* que el plantejament que esteu fent és factible i té sentit, i ja tingueu una garantia d'èxit mínima. Això és important per evitar fer propostes massa optimistes que després costen molt més d'implementar del que semblava en un principi (encara que no ho sembli, és el més freqüent!). A més, saber que ja teniu l'aprovació del professor és ideal perquè ell mateix us corregirà la pràctica.

ENTREGA 3: L'entrega 3 es farà pel Racó.

La data límit d'entrega del projecte acabat serà el **8 de Juny de 2025**.