

# Búsqueda amb adversaris

Jocs

Models d'intel·ligència artificial

# Jocs

- Fins ara en els nostres problemes de cerca, l'entorn era **determinista i totalment observable**.
  - Solament calia **planificar** una seqüència d'accions per arribar a l'estat objectiu.
- En els jocs hi ha **adversaris**: Cada jugador té un **objectiu** diferent.
  - Els jugadors modifiquen l'estat de l'entorn en benefici propi.
  - La cooperació pot ocórrer, però solament si és beneficiosa per a tots els jugadors.
- Els jocs són un **domini** molt important en la intel·ligència artificial.
  - Són un **domini** molt **comú, complexe** i útil per a la **investigació**.

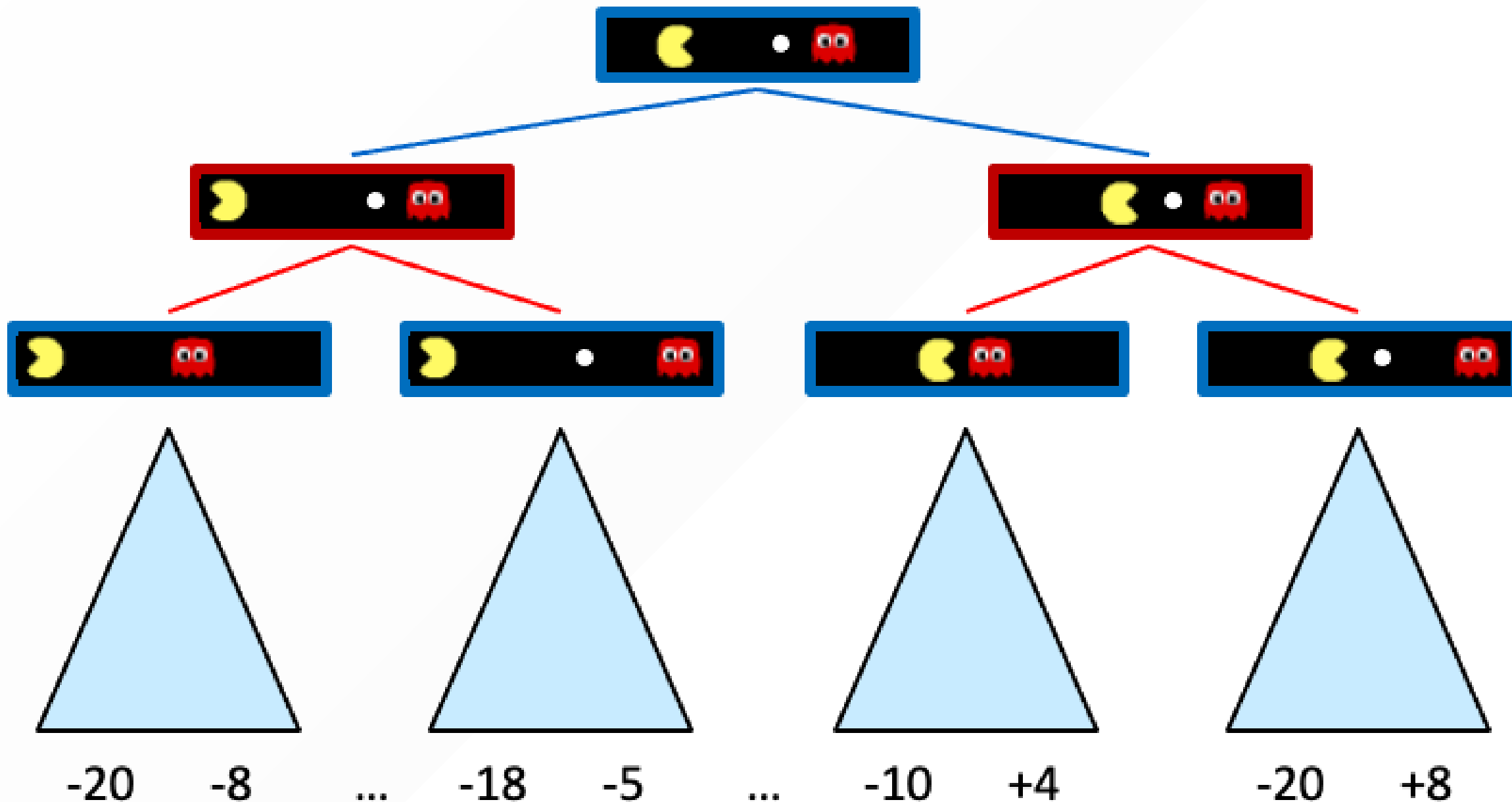
# Propietats

Tindrem en compte les següents propietats:

- **Dos jugadors:** Un pot ser la màquina i l'altre un humà.
- **Finit:** nombre finit d'estats. Si el nombre d'estats és molt gran es poden utilitzar aproximacions.
- **Suma zero:** el guany d'un jugador és la pèrdua de l'altre.
- **Determinista:** no hi ha aleatorietat.
- Informació **perfecta:** els jugadors coneixen l'estat del joc en tot moment. (Escacs, Go, etc.)

## Dos jugadors i suma zero

- Dos jugadors:  $MAX$  i  $MIN$ .
- Un conjunt de **posicions**  $P$  (estats)
- Una posició inicial  $p_0 \in P$
- Un conjunt de **posicions terminals**  $T \subseteq P$
- Un conjunt d'eixos dirigits  $E_{Max}$  i  $E_{Min}$  entre les posicions.
  - Representaran els moviments possibles de cada jugador.
- Una **funció d'utilitat**  $u : T \rightarrow \mathbb{R}$  que
  - el valor de cada posició terminal per a  $MAX$ .

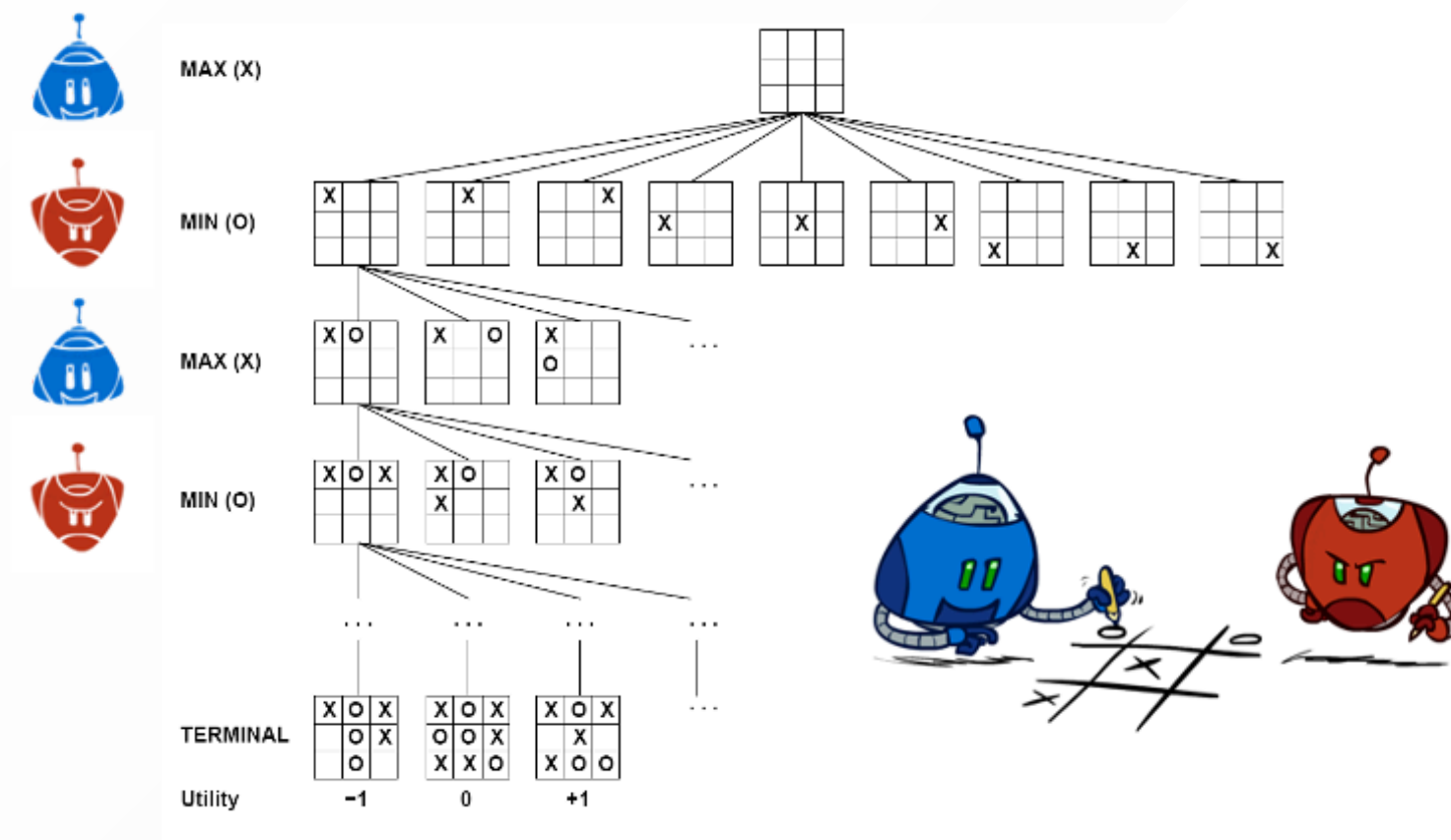


# Arbre de joc (I)

Característiques:

- **Arbre de joc:** capes d'estats **alternant** entre els jugadors.
- **Arrel:** Estat **inicial**.
- **Estat del joc:** **posició** i **jugador** a moure.
- **Final del joc:** Quan un jugador arriba a una **posició terminal**.
- **Funció d'utilitat:** Junt als terminals substitueix els objectius
  - Cada node **terminal**  $t$  s'etiqueta segons la seva **utilitat**  $U(t)$ .
  - Per a  $MAX$  serà  $U(t)$ , per a  $MIN$   $-U(t)$ .
  - En la majoria de jocs que veurem,  $U(t) \in \{-1, 0, 1\}$ .

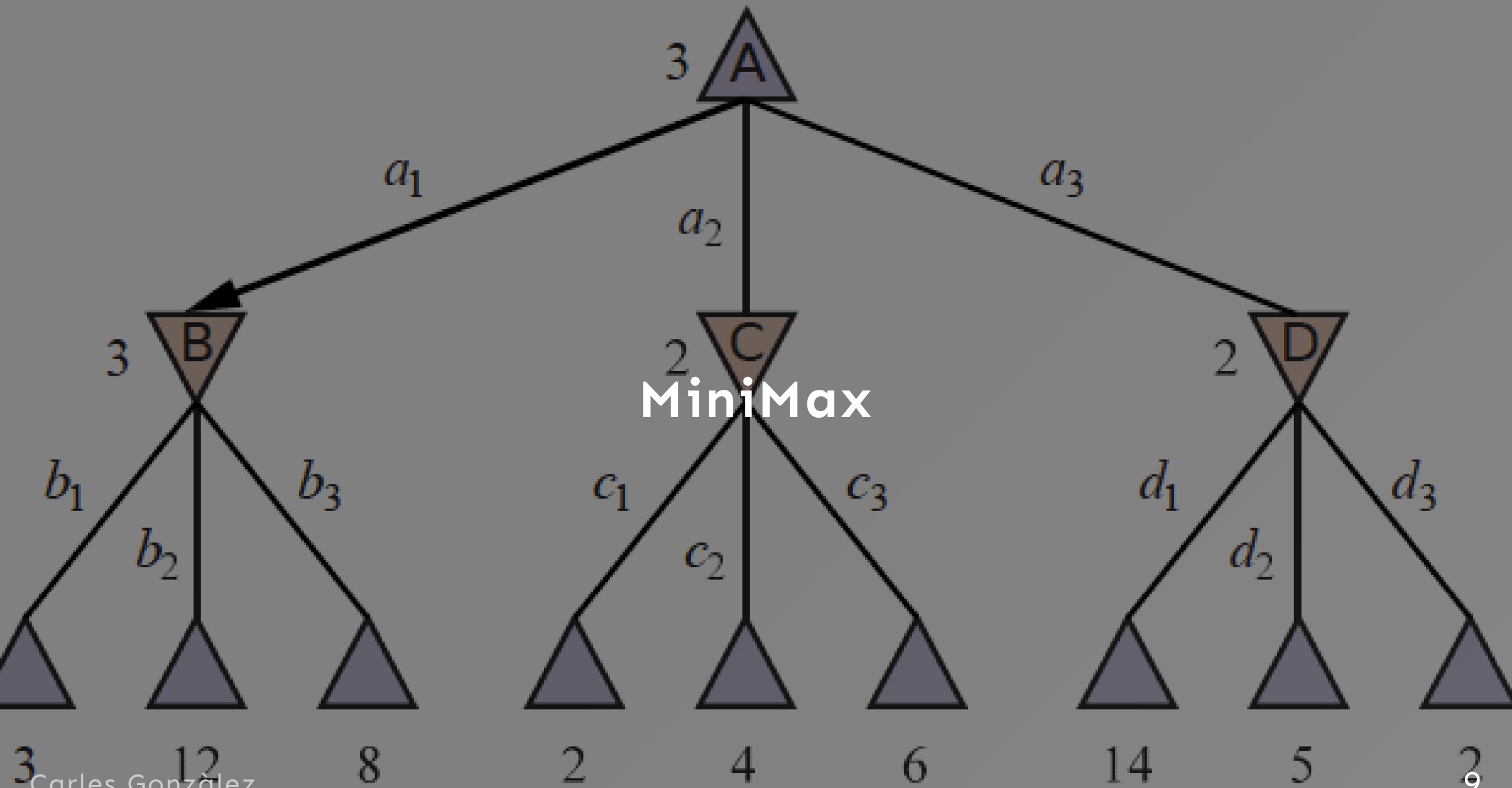
# Arbre de joc (II) - Exemple



# Estratègies

- *MAX* vol **maximitzar** la seva utilitat.
- *MIN* vol **minimitzar** la utilitat de *MAX*.
- *MAX* no decideix sol a quin estat terminal arribarà.
  - Quan *MAX* mou, *MIN* decideix a quin estat subseqüent es mourà.
- *MAX* ha de tindre una **estratègia**:
  - Ha de decidir que fer **per a cada possible moviment** de *MIN*.
  - No hi ha prou en una seqüència d'accions predefinida, **dependrà de les accions** de *MIN*.





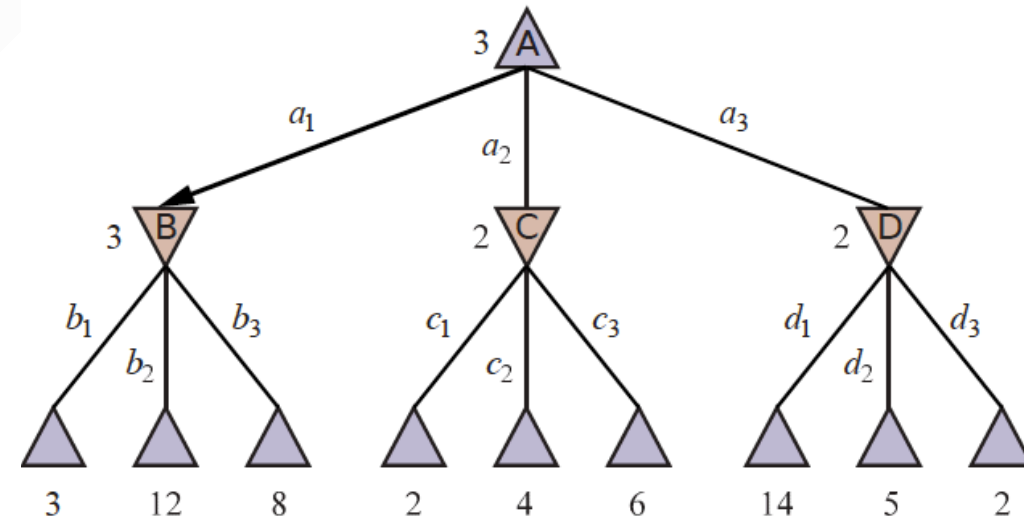
# MiniMax

- Estratègia recursiva.
- Assumint que *MIN* juga sempre **el seu millor moviment**,
  - quin moviment s'ha de fer per minimitzar la utilitat de *MIN*?
- Cada node tindrà una **puntuació minimax**.
  - Serà la **utilitat mínima** que **MAX** pot obtenir si **MIN** juga **òptimament**.

**Minimitzant el guany de MIN estem maximitzant el nostre guany.**

## Exemple

- En l'exemple de la dreta els nodes  $\triangle$  són *MAX* i els  $\nabla$  *MIN*.
- Els nodes terminals mostren la **utilitat** per a *MAX*.
- La resta de nodes mostren la seva puntuació **minimax**
- En l'arrel la millor opció per a *MAX* és  $a_1$ , ja que porta al node en millor puntuació minimax
- En el segon nivell la millor opció per a *MIN* és  $b_1$  per dur al node en menys puntuació



# Algorisme

- **Entrada:** Un arbre de joc  $A$ , un node  $n$ , un jugador  $j$ .
- **Sortida:** La puntuació minimax del node  $n$ .
- **Algorisme:** Algorisme recursiu.
  - Si  $n$  és un node terminal, retornar la seva utilitat.
  - Si  $j$  és  $MAX$ : Retornar el màxim de les puntuacions dels fills.
  - Si  $j$  és  $MIN$ : Retornar el mínim de les puntuacions dels fills.

# Implementació (I)

```
def cerca_minimax(joc, estat):  
    jugador = estat.a_moure  
    return valor_maxim(joc, jugador, estat)  
  
def valor_maxim(joc, jugador, estat):  
    if joc.es_terminal(estat):  
        return joc.utilitat(estat, jugador), None  
    v, moviment = float('-inf'), None  
    for a in joc.accions(estat):  
        v2, _ = valor_minim(joc, jugador, joc.resultat(estat, a))  
        if v2 > v:  
            v, moviment = v2, a  
    return v, moviment
```

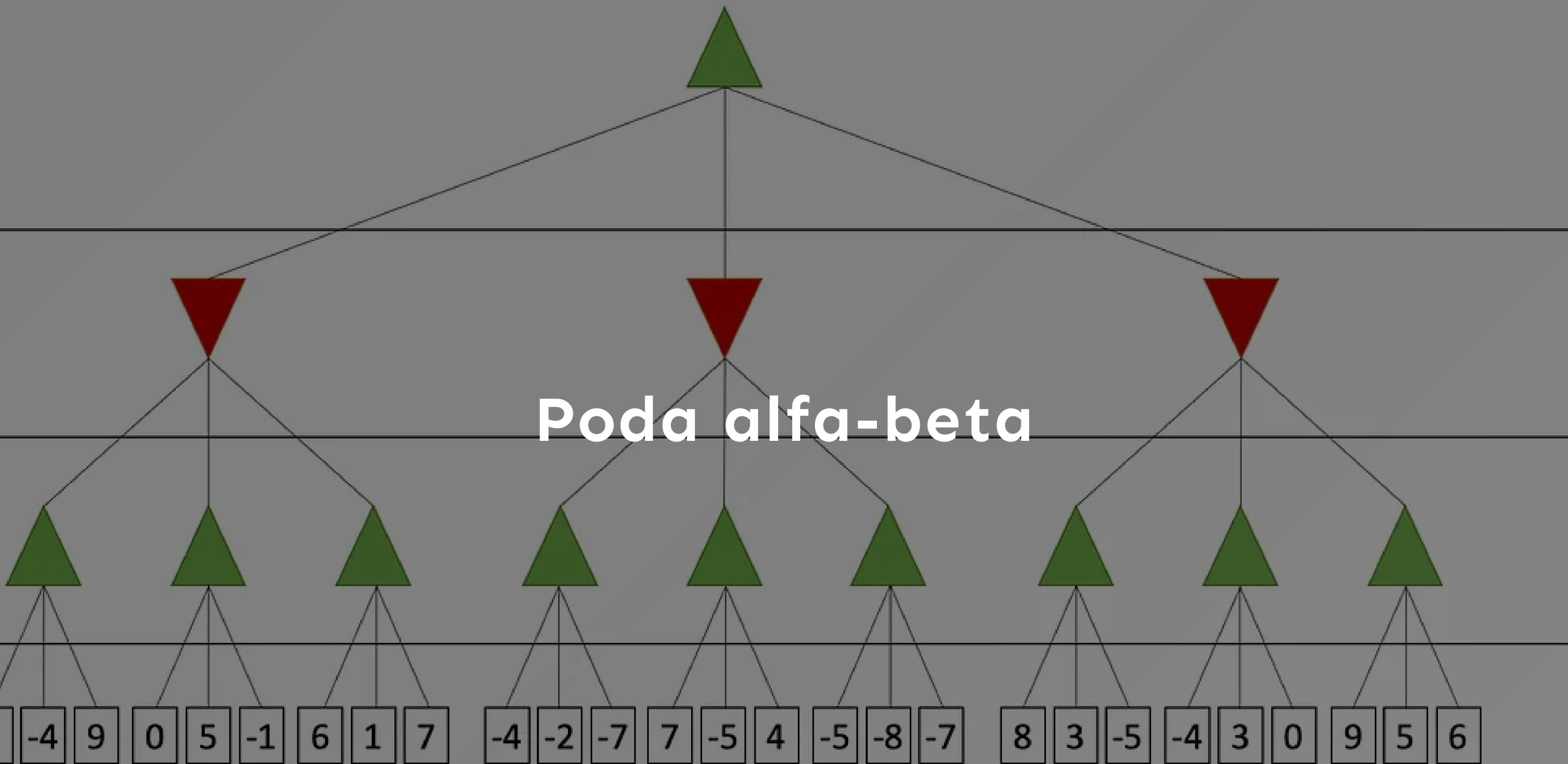
# Implementació (II)

```
def valor_minim(joc, jugador, estat):  
    if joc.es_terminal(estat):  
        return joc.utilitat(estat, jugador), None  
    v, moviment = float('inf'), None  
    for a in joc.accions(estat):  
        v2, _ = valor_maxim(joc, jugador, joc.resultat(estat, a))  
        if v2 < v:  
            v, moviment = v2, a  
    return v, moviment
```

# Problemes

- **Complexitat:**  $O(b^m)$ 
  - sent  $b$  el nombre de branques per node i  $m$  la profunditat de l'arbre.
- La complexitat pot ser **massiva**.
  - En el joc d'escacs,  $b \approx 35$  i  $m \approx 100$ .  $Nodes \approx 10^{54}$
  - En el joc del Go,  $b \approx 250$  i  $m \approx 150$ .  $Nodes \approx 10^{360}$
- Això fa que sigui **impossible** explorar tot l'arbre de joc en jocs complexos.
  - Veurem tècniques que poden ajudar-nos.

# Poda alfa-beta



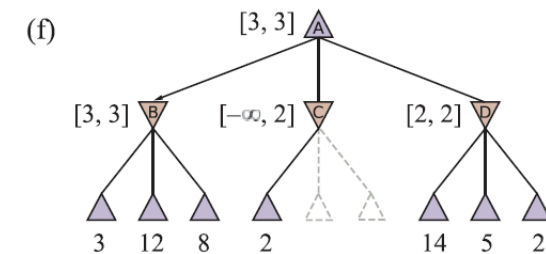
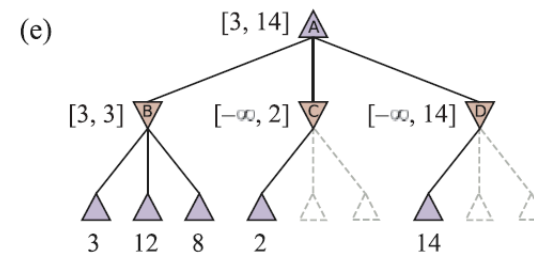
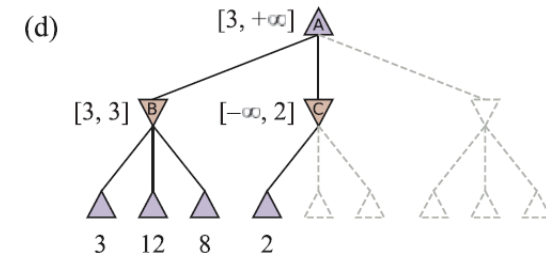
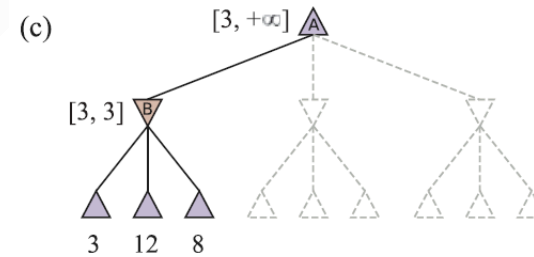
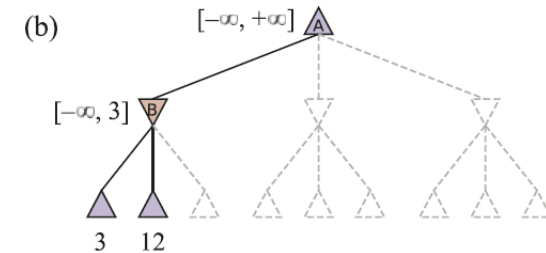
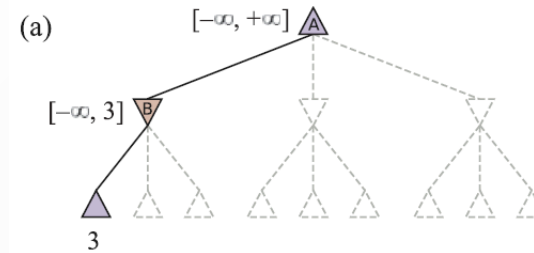


# Introducció

- **Poda alfa-beta: tècnica** per reduir el nombre de nodes a explorar en l'arbre de joc.
- **Poda: eliminar** nodes de l'arbre de joc sense explorar-los.
- **Alfa: valor** mínim que *MAX* està **assegurat** de poder obtenir.
- **Beta: valor** màxim que *MIN* està **assegurat** de poder obtenir.
- **Nodes a podar:** Nodes que, independentment del seu valor, no modificaran el nivell superior.

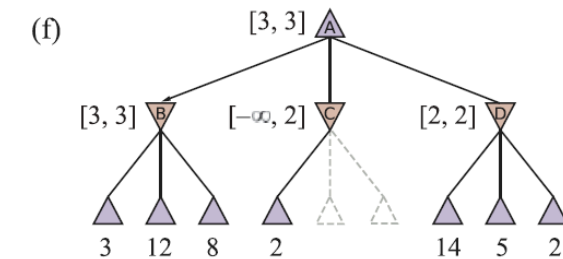
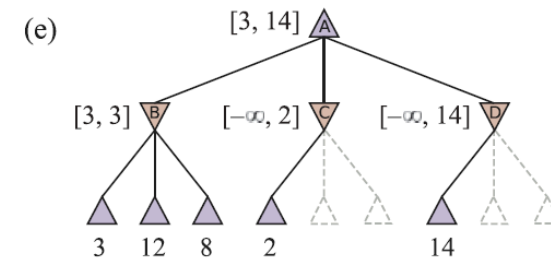
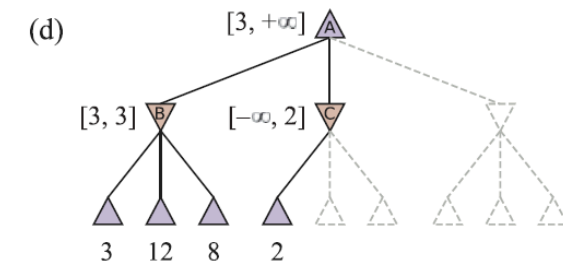
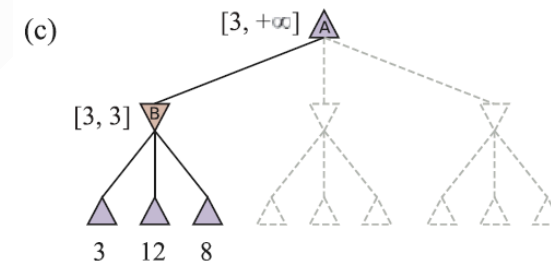
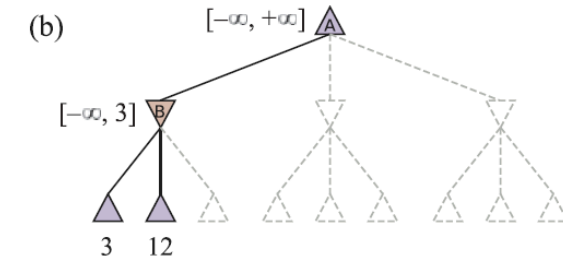
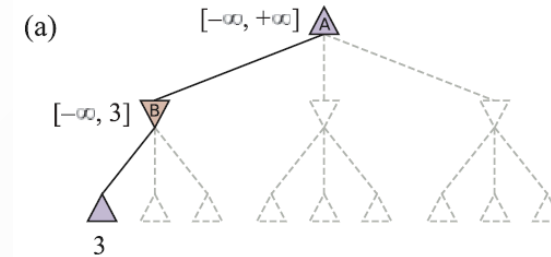
## Exemple (I)

- La primera fulla baix  $B$  té valor 3. Per tant  $B$  (node  $MIN$ ) té un valor màxim de 3.
- La segona fulla baix  $B$  té valor 12.
  - $MIN$  evitaria aquest moviment, per lo que  $B$  encara té un valor màxim de 3.
- La tercera fulla baix  $B$  té valor 8. El valor de final de  $B$  és 3.
  - Podem deduir llavors que el valor mínim d' $A$  és 3, al tindre un node terminal amb valor 3.



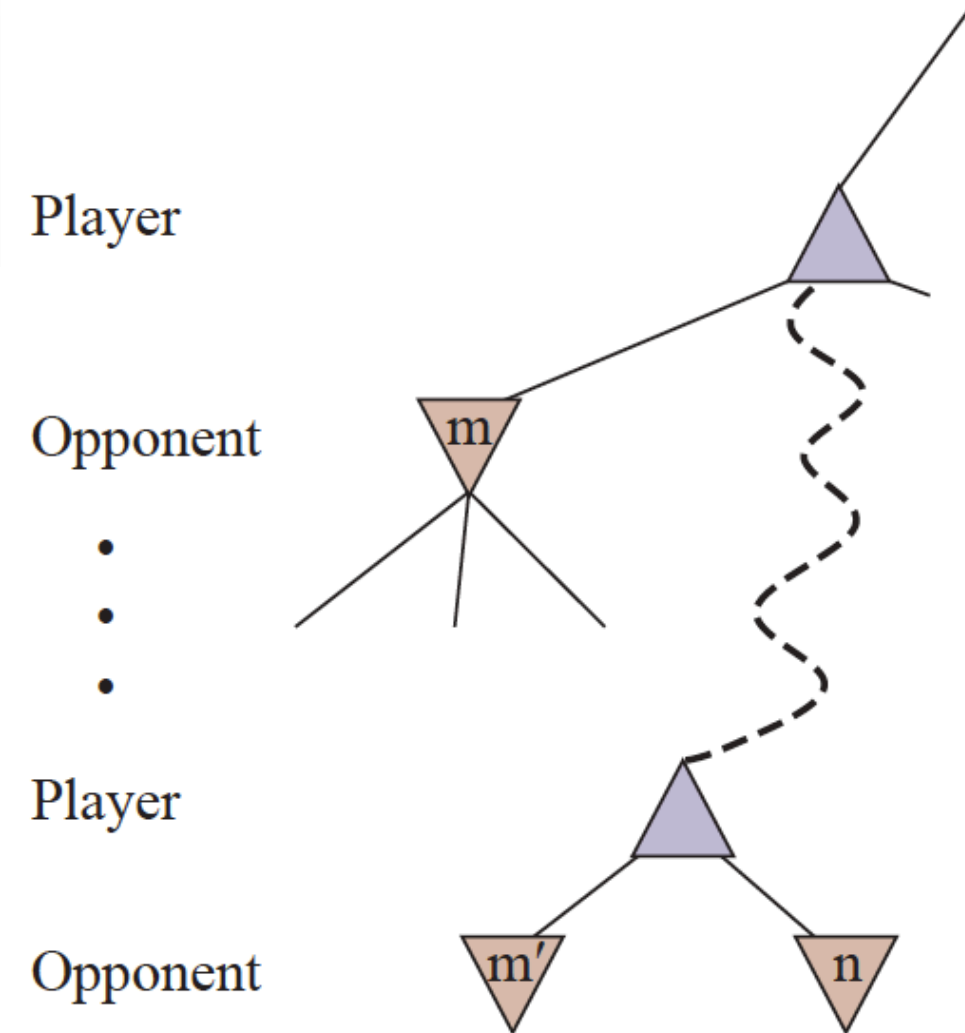
## Exemple (II)

- La primera fulla baix  $C$  té valor 2. Per tant  $C$ , que es un node  $MIN$ , té un valor màxim de 2.
  - Sabem que  $B$  té un valor de 3, per lo que  $MAX$  mai escollirà  $C$ 
    - Així sabem que no cal explorar els altres nodes fills de  $C$ ,
  - Aquesta és la **poda alfa-beta**.
- Al acabar l'exploració sabem els valors de cada node necessari.



# Regles

- La poda alfa-beta **no** afecta al resultat de l'algorisme.
- Es pot aplicar a qualsevol profunditat de l'arbre.
  - Moltes vegades es poden, fins i tot, podar arbres sencers.
- Principi general, per un node  $n$ :
  - Si hi ha una opció millor al mateix nivell ( $m'$ ) o superior ( $m$ ),  $n$  no es visitarà.



# Implementació (I)

```
def busqueda_alfa_beta(joc, estat):  
    jugador = estat.a_moure  
    return valor_maxim_ab(joc, jugador, estat, float('-inf'), float('inf'))  
  
def valor_maxim_ab(joc, jugador, estat, alfa, beta):  
    if joc.es_terminal(estat):  
        return joc.utilitat(estat, jugador), None  
    v, moviment = float('-inf'), None  
    for a in joc.accions(estat):  
        v2, _ = valor_minim_ab(joc, jugador, joc.resultat(estat, a), alfa, beta)  
        if v2 > v:  
            v, moviment = v2, a  
        if v >= beta:  
            return v, moviment  
    alfa = max(alfa, v)  
    return v, moviment
```

# Implementació (II)

```
def valor_minim_ab(joc, jugador, estat, alfa, beta):  
    if joc.es_terminal(estat):  
        return joc.utilitat(estat, jugador), None  
    v, moviment = float('inf'), None  
    for a in joc.accions(estat):  
        v2, _ = valor_maxim_ab(  
            joc, jugador, joc.resultat(estat, a), alfa, beta  
        )  
        if v2 < v:  
            v, moviment = v2, a  
        if v <= alfa:  
            return v, moviment  
        beta = min(beta, v)  
    return v, moviment
```

# Millors

- **Ordenació de nodes:** Ordenar els nodes fills correctament permet podar més.
  - Una bona ordenació pot permetre passar d'examinar de  $O(b^{3d/4})$  a  $O(b^{d/2})$ 
    - En un joc d'escacs, els moviments que mengen peces són més probables de ser bons.
- Per no explorar estats repetits, es pot utilitzar una **taula de transposició** semblant al conjunt de visitats, però amb els valors de cada node.
- Aplicar **heurístiques** per tallar l'avaluació: aplicar una funció d'avaluació a les posicions no terminals per fer-les terminals

# Funcions d'avaluació

## Introducció

- En jocs complexos, no es pot explorar tot l'arbre de joc.
- En lloc d'això, es pot utilitzar una **funció d'avaluació** per estimar la utilitat d'un estat.
- La funció d'avaluació **no** ha de ser perfecta.
  - Ha de ser **ràpida** de calcular.
  - Ha de ser **consistent** amb la utilitat real.



# Funcions d'avaluació

## Exemple: Tic-Tac-Toe

- En el joc del tres en ratlla, podem utilitzar la següent funció d'avaluació:

- $$u(s) = \sum_{i=1}^3 \sum_{j=1}^3 \begin{cases} 1 & \text{si } s_{i,j} = \text{MAX} \\ -1 & \text{si } s_{i,j} = \text{MIN} \\ 0 & \text{altrament} \end{cases}$$

- Explicació: Sumem 1 per cada fitxa de *MAX* i restem 1 per cada fitxa de *MIN*.

# Funcions d'avaluació

## Implementació

```
def avalua_tres_en_ratlla(joc, estat):  
    jugador = estat.a_moure  
    utilitat = 0  
    for i in range(3):  
        for j in range(3):  
            if estat.tauler[i][j] == jugador:  
                utilitat += 1  
            elif estat.tauler[i][j] == joc.jugador_contrari(jugador):  
                utilitat -= 1  
    return utilitat
```