

# Feature set analysis for chess NN networks

Tesis de Licenciatura

Martín Emiliano Lombardo

Departamento de Computación  
Facultad de Ciencias Exactas y Naturales  
Universidad de Buenos Aires

2024



Introducción  
●○○○○○○○○○

Engine  
○

Feature set  
○○○○○○○○○○

ΣNN (NNUE)  
○○○○○

Training  
○

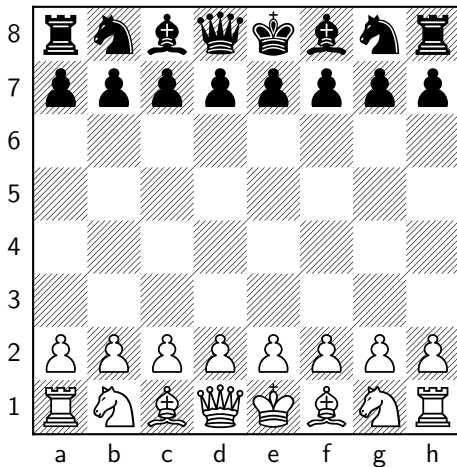
Experimentos  
○○○○○○○○○

Conclusión  
○○

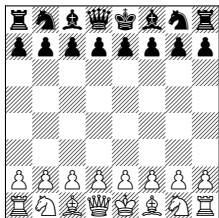
# Introducción

# Ajedrez

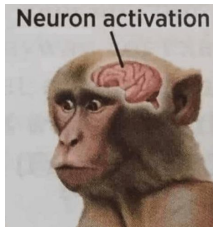
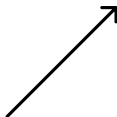
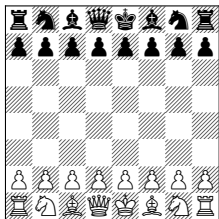
- Dos jugadores
- Suma cero



# Humano vs. Computadora

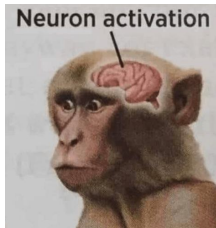
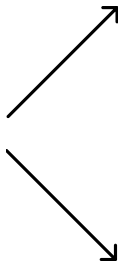
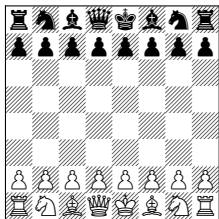


# Humano vs. Computadora



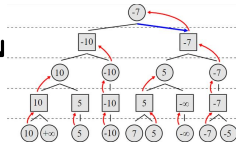
→ e2e4

# Humano vs. Computadora



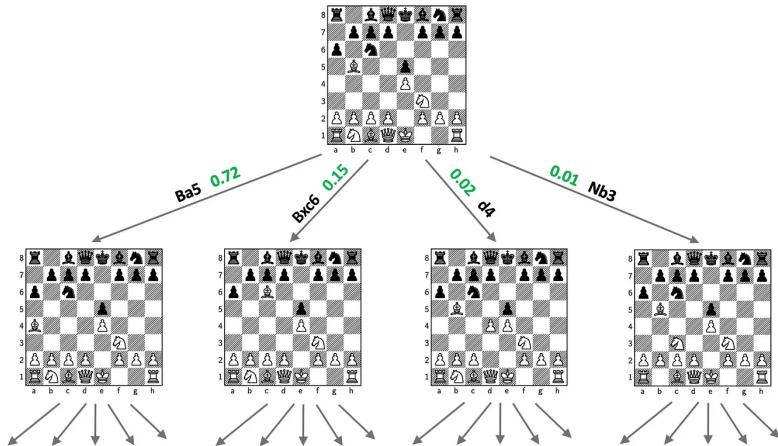
→ e2e4

Chess Engine



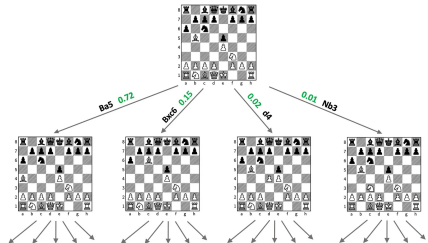
→ e2e4

# Ajedrez como árbol



# Motores de ajedrez (Chess Engines)

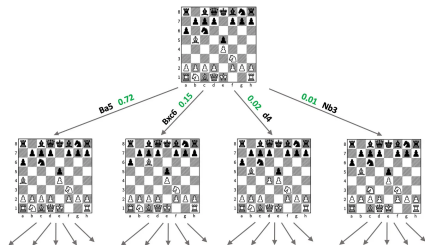
- Exploran el árbol de juego (Minimax, MCTS, etc.)





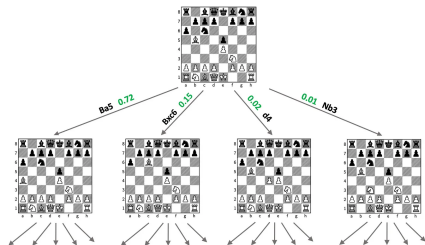
# Motores de ajedrez (Chess Engines)

- Exploran el árbol de juego (Minimax, MCTS, etc.)
- Utilizan funciones de evaluación en las hojas



# Motores de ajedrez (Chess Engines)

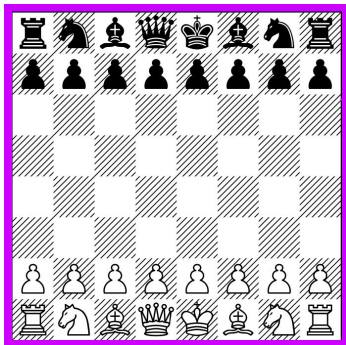
- Exploran el árbol de juego (Minimax, MCTS, etc.)
- Utilizan funciones de evaluación en las hojas
- La evaluación se propaga hacia arriba, según el algoritmo



# Función de evaluación

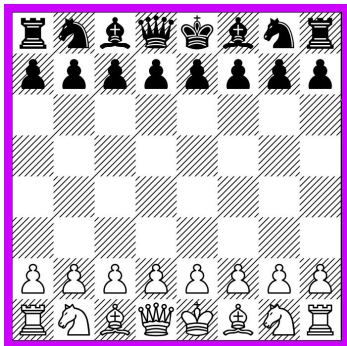
$$f \left( \begin{array}{c} \text{Chessboard state} \end{array} \right) = 5$$

(adelanto) Feature set: ¿Cómo transformar la posición a un vector?



$$f(?) = ?$$

(adelanto) Feature set: ¿Cómo transformar la posición a un vector?



feature set!

$$f(?) = ?$$

# Motores de ajedrez (breve historia)

# Plan

asdasd

- Text visible on slide 1

asdasd

# Plan

asdasd

- Text visible on slide 1
- Text visible on slide 2

asdasd



# Plan

asdasd

- Text visible on slide 1
- Text visible on slide 2
- Text visible on slide 3

asdasd

# Plan

asdasd

- Text visible on slide 1
- Text visible on slide 2
- Text visible on slide 4

asdasd

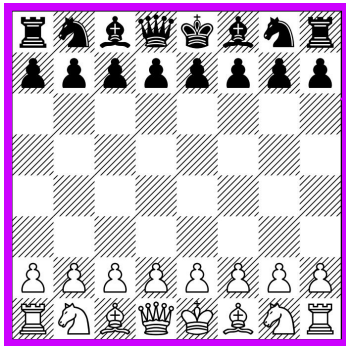
# Contenido

- 1 Introducción
- 2 Engine
- 3 Feature set
  - Motivación
  - Definición
  - Operadores
  - Feature sets conocidos
  - Resumen
- 4  $\exists U \forall V$  (NNUE)
- 5 Training
- 6 Experimentos
- 7 Conclusión

Engine

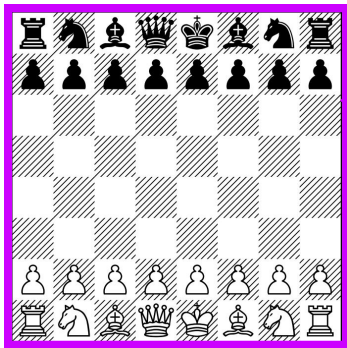
## Feature set

# ¿Cómo transformar la posición a un vector?



$$f(?) = ?$$

# ¿Cómo transformar la posición a un vector?



feature set!

$$f(?) = ?$$

# Definición

Un **feature set**  $S_P$  se define con un conjunto  $S$  y un predicado asociado  $P(e)$ , donde:

- $S$  es un conjunto de conceptos (rol, color, celda, número, etc.).
- $P(e)$  es un predicado que determina si  $e$  está presente (o *activo*) en la posición (implícita).



# Definición

Un **feature set**  $S_P$  se define con un conjunto  $S$  y un predicado asociado  $P(e)$ , donde:

- $S$  es un conjunto de conceptos (rol, color, celda, número, etc.).
- $P(e)$  es un predicado que determina si  $e$  está presente (o *activo*) en la posición (implícita).
- Cada elemento en  $S_P$  es un *feature*.

# Definición

Un **feature set**  $S_P$  se define con un conjunto  $S$  y un predicado asociado  $P(e)$ , donde:

- $S$  es un conjunto de conceptos (rol, color, celda, número, etc.).
- $P(e)$  es un predicado que determina si  $e$  está presente (o *activo*) en la posición (implícita).
- Cada elemento en  $S_P$  es un *feature*.
- Cada *feature* es un valor en el vector de entrada, valiendo 1 si está *activo* y 0 si no.

# Ejemplos de S

Información posicional:

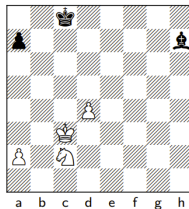
$$\text{FILES} = \{a, b, \dots, h\}$$
$$\text{RANKS} = \{1, 2, \dots, 8\}$$
$$\text{SQUARES} = \{a1, a2, \dots, h8\}$$

|   |    |    |    |    |    |    |    |    |
|---|----|----|----|----|----|----|----|----|
| 8 | a8 | b8 | c8 | d8 | e8 | f8 | g8 | h8 |
| 7 | a7 | b7 | c7 | d7 | e7 | f7 | g7 | h7 |
| 6 | a6 | b6 | c6 | d6 | e6 | f6 | g6 | h6 |
| 5 | a5 | b5 | c5 | d5 | e5 | f5 | g5 | h5 |
| 4 | a4 | b4 | c4 | d4 | e4 | f4 | g4 | h4 |
| 3 | a3 | b3 | c3 | d3 | e3 | f3 | g3 | h3 |
| 2 | a2 | b2 | c2 | d2 | e2 | f2 | g2 | h2 |
| 1 | a1 | b1 | c1 | d1 | e1 | f1 | g1 | h1 |
|   | a  | b  | c  | d  | e  | f  | g  | h  |

Información sobre las piezas:

$$\text{ROLES} = \{ \text{♙ Pawn}, \text{♘ Knight}, \text{♚ Bishop}, \text{♖ Rook}, \text{♑ Queen}, \text{♔ King} \}$$
$$\text{COLORS} = \{ \text{○ White}, \text{● Black} \}$$

# Ejemplo completo



|                 | Feature set  |  |
|-----------------|--|--|
|                 | $(\text{FILES} \times \text{COLORS})_P$  | $(\text{FILES} \times \text{ROLES})_Q$   |
| Active features | $\langle a, \bigcirc \rangle, \langle a, \bullet \rangle, \langle c, \bullet \rangle,$<br>$\langle c, \bigcirc \rangle, \langle d, \bigcirc \rangle, \langle h, \bullet \rangle$ | $\langle a, \text{♙} \rangle, \langle c, \text{♔} \rangle, \langle c, \text{♚} \rangle,$<br>$\langle d, \text{♙} \rangle, \langle h, \text{♗} \rangle$ |

$P(\langle f, c \rangle)$ : there is a piece in file  $f$  with color  $c$ .

$Q(\langle f, r \rangle)$ : there is a piece in file  $f$  with role  $r$ .

# Operación: Suma $\oplus$ (concatenación)

Hay veces que es útil combinar información de dos *feature sets*

# Operación: Suma $\oplus$ (concatenación)

Hay veces que es útil combinar información de dos *feature sets*

$S_P, T_Q$  : feature sets

$$S_P \oplus T_Q = (S \cup T)_R$$

$$\text{where } R(e) = \begin{cases} P(e) & \text{if } e \in S \\ Q(e) & \text{if } e \in T \end{cases}$$

# Operación: Producto $\times$ (and)

$$S_P \times T_Q = (S \times T)_R$$

where  $R(\langle e_0, e_1 \rangle) = P(e_0) \wedge Q(e_1)$

# Feature set: ALL

La codificación más natural de una posición de ajedrez

$$\text{ALL} : (\text{SQUARES} \times \text{ROLES} \times \text{COLORS})_P$$

$P(\langle s, r, c \rangle)$ : there is a piece in square  $s$  with role  $r$  and color  $c$



# Feature set: ALL

La codificación más natural de una posición de ajedrez

$ALL : (SQUARES \times ROLES \times COLORS)_P$   
 $P(\langle s, r, c \rangle)$ : there is a piece in square  $s$  with role  $r$  and color  $c$

- Es pequeño:  $64 \times 6 \times 2 = 768$  *features*

# Feature set: ALL

La codificación más natural de una posición de ajedrez

$$ALL : (SQUARES \times ROLES \times COLORS)_P$$

$P(\langle s, r, c \rangle)$ : there is a piece in square  $s$  with role  $r$  and color  $c$

- Es pequeño:  $64 \times 6 \times 2 = 768$  *features*
- Es completo: contiene toda la información de la posición

# Feature set: ALL

La codificación más natural de una posición de ajedrez

$$ALL : (SQUARES \times ROLES \times COLORS)_P$$

$P(\langle s, r, c \rangle)$ : there is a piece in square  $s$  with role  $r$  and color  $c$

- Es pequeño:  $64 \times 6 \times 2 = 768$  *features*
- Es completo: contiene toda la información de la posición
- Es muy rápido computar cuáles *features* están activas

# Feature set: KING-ALL ó “KA”

Los engines modernos usan variaciones del siguiente feature set.  
Permite entender la posición en relación a la posición del rey:

$$\text{KING-ALL} = \text{SQUARE}_K \times \text{ALL}$$

$K(s)$ :  $s$  is the square of the king of the side to move

# Feature set: KING-ALL ó “KA”

Los engines modernos usan variaciones del siguiente feature set.  
Permite entender la posición en relación a la posición del rey:

$$\text{KING-ALL} = \text{SQUARE}_K \times \text{ALL}$$

$K(s)$ :  $s$  is the square of the king of the side to move

- Es grande:  $64 \times 768 = 49152$  *features*

# Feature set: KING-ALL ó “KA”

Los engines modernos usan variaciones del siguiente feature set.  
Permite entender la posición en relación a la posición del rey:

$$\text{KING-ALL} = \text{SQUARE}_K \times \text{ALL}$$

$K(s)$ :  $s$  is the square of the king of the side to move

- Es grande:  $64 \times 768 = 49152$  *features*
- Es muy rápido como  $\text{ALL}$

## Feature set: KING-ALL ó “KA”

Los engines modernos usan variaciones del siguiente feature set.  
Permite entender la posición en relación a la posición del rey:

$$\text{KING-ALL} = \text{SQUARE}_K \times \text{ALL}$$

$K(s)$ :  $s$  is the square of the king of the side to move

- Es grande:  $64 \times 768 = 49152$  *features*
- Es muy rápido como  $\text{ALL}$
- Entrenarlo require un dataset más grande y lleva más tiempo (no me meto acá)

# Feature sets: resumen

- **$S$** : set of concepts (roles, colors, squares, files, ranks, etc.).
- **$P(e)$** : predicate that defines when the feature  $e$  is present in the (implicit) position.
- **$S_P$** : a feature set. Every element in  $S_P$  is a feature. Features that satisfy  $P$  are *active*.
- $S_P \times T_Q = (S \times T)_R$  where  $R(\langle e_0, e_1 \rangle) = P(e_0) \wedge Q(e_1)$
- $S_P \oplus T_Q = (S \cup T)_R$  where  $R(e) = \begin{cases} P(e) & \text{if } e \in S \\ Q(e) & \text{if } e \in T \end{cases}$



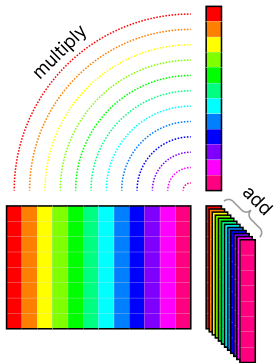
## ENNE (NNUE)

## ΕUΜΝ: Efficiently Updatable Neural Networks

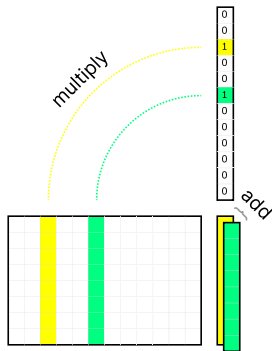
# EUNN: Neural Networks

- El input es un vector one-hot generado por el *feature set*.
  - Debe tener pocos *features* activos (rara): introduce una cota superior.
- La red es una *feedforward* clásica con dos capas ocultas.

# Linear layer



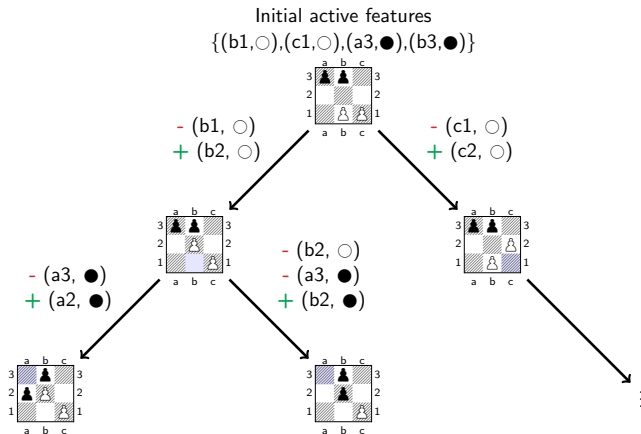
(g) Linear layer



(h) Linear layer with sparse inputs

Figure: Linear layer operation comparison. Figures from [18].

# EUNN: Efficient Updates



**Figure:** Partial tree of feature updates (removals and additions) for  $(\text{SQUARES} \times \text{COLORS})$  (white's point of view) in a simplified 3x3 pawn-only board.

# ΕUΜM: Tradeoff

## motivacion comparacion de burns

# Training



## Experimentos

## Setup de training

¿Qué hay que definir para entrenar una red?

# Setup de training

¿Qué hay que definir para entrenar una red?

- **Feature set:** determina la codificación y los patrones que se pueden aprender

# Setup de training

¿Qué hay que definir para entrenar una red?

- **Feature set:** determina la codificación y los patrones que se pueden aprender
- **Dataset:** datos de entrenamiento, visto anteriormente

# Setup de training

¿Qué hay que definir para entrenar una red?

- **Feature set:** determina la codificación y los patrones que se pueden aprender
- **Dataset:** datos de entrenamiento, visto anteriormente
- **Arquitectura de la red:** el tamaño de cada capa;  $L_1$  y  $L_2$

# Setup de training

¿Qué hay que definir para entrenar una red?

- **Feature set:** determina la codificación y los patrones que se pueden aprender
- **Dataset:** datos de entrenamiento, visto anteriormente
- **Arquitectura de la red:** el tamaño de cada capa;  $L_1$  y  $L_2$
- **Método de entrenamiento:** PQR/target scores; determina el formato de las muestras y la loss function

# Setup de training

¿Qué hay que definir para entrenar una red?

- **Feature set:** determina la codificación y los patrones que se pueden aprender
- **Dataset:** datos de entrenamiento, visto anteriormente
- **Arquitectura de la red:** el tamaño de cada capa;  $L_1$  y  $L_2$
- **Método de entrenamiento:** PQR/target scores; determina el formato de las muestras y la loss function
- **Hiperparámetros:** learning rate, batch size, epochs, etc.

## Setup de evaluación

¿Cómo evalúo el performance de una red entrenada?



# Setup de evaluación

¿Cómo evalúo el performance de una red entrenada?

- **Loss** (train y val.): indica la calidad de las predicciones.
  - Permite detectar overfitting y otros problemas

# Setup de evaluación

¿Cómo evalúo el performance de una red entrenada?

- **Loss** (train y val.): indica la calidad de las predicciones.
  - Permite detectar overfitting y otros problemas
- **Puzzle accuracy**: porcentaje de movimientos acertados en puzzles de Lichess.
  - Sólo hay un movimiento correcto
  - Proxy (muy malo) de la fuerza de la red

# Setup de evaluación

¿Cómo evalúo el performance de una red entrenada?

- **Loss** (train y val.): indica la calidad de las predicciones.
  - Permite detectar overfitting y otros problemas
- **Puzzle accuracy**: porcentaje de movimientos acertados en puzzles de Lichess.
  - Sólo hay un movimiento correcto
  - Proxy (muy malo) de la fuerza de la red
- **Elo relativo**: la medida más común para comparar engines.
  - Se realizan torneos de 100ms por movimiento
  - El elo es calculado a partir de Ordo

## Baseline: motivación

Busco fijar el setup de entrenamiento con valores razonables

# Baseline: motivación

Busco fijar el setup de entrenamiento con valores razonables

- El feature set va a cambiar cada experimento

# Baseline: motivación

Busco fijar el setup de entrenamiento con valores razonables

- El feature set va a cambiar cada experimento
- El dataset está fijo

# Baseline: motivación

Busco fijar el setup de entrenamiento con valores razonables

- El feature set va a cambiar cada experimento
- El dataset está fijo
- El método de entrenamiento principal es *target scores*

# Baseline: motivación

Busco fijar el setup de entrenamiento con valores razonables

- El feature set va a cambiar cada experimento
- El dataset está fijo
- El método de entrenamiento principal es *target scores*

Entonces queda por determinar...

- La arquitectura de la red ( $L_1$  y  $L_2$ )



# Baseline: motivación

Busco fijar el setup de entrenamiento con valores razonables

- El feature set va a cambiar cada experimento
- El dataset está fijo
- El método de entrenamiento principal es *target scores*

Entonces queda por determinar...

- La arquitectura de la red ( $L_1$  y  $L_2$ )
- Los hiperparámetros

# Baseline: hiperparámetros

Los hiperparámetros fueron seleccionados en base al trainer oficial de Stockfish:

## Baseline: hiperparámetros

Los hiperparámetros fueron seleccionados en base al trainer oficial de Stockfish:

- **Learning rate:** 0.0005

# Baseline: hiperparámetros

Los hiperparámetros fueron seleccionados en base al trainer oficial de Stockfish:

- **Learning rate:** 0.0005
- **Exponential decay:** 0.99

# Baseline: hiperparámetros

Los hiperparámetros fueron seleccionados en base al trainer oficial de Stockfish:

- **Learning rate:** 0.0005
- **Exponential decay:** 0.99
- **Batch size:** 16384

# Baseline: hiperparámetros

Los hiperparámetros fueron seleccionados en base al trainer oficial de Stockfish:

- **Learning rate:** 0.0005
- **Exponential decay:** 0.99
- **Batch size:** 16384
- **Epoch size:** 100 million

# Baseline: hiperparámetros

Los hiperparámetros fueron seleccionados en base al trainer oficial de Stockfish:

- **Learning rate:** 0.0005
- **Exponential decay:** 0.99
- **Batch size:** 16384
- **Epoch size:** 100 million
  - cada epoch realiza 6104 batches

# Baseline: hiperparámetros

Los hiperparámetros fueron seleccionados en base al trainer oficial de Stockfish:

- **Learning rate:** 0.0005
- **Exponential decay:** 0.99
- **Batch size:** 16384
- **Epoch size:** 100 million
  - cada epoch realiza 6104 batches
- **Epochs:** 256
  - cada run observa *25.6 billion* samples



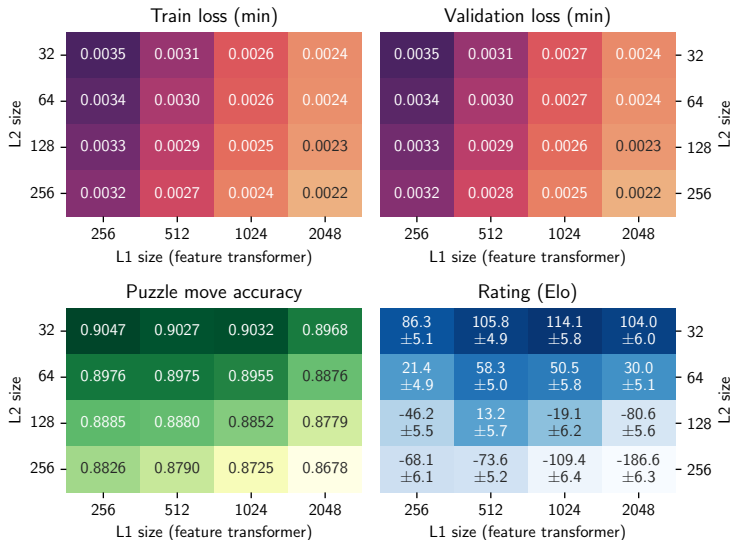
# Baseline: experimento

Sólo queda buscar parámetros  $L_1$  y  $L_2$  razonables. Realizo una búsqueda en grilla con:

- $L_1 \in \{256, 512, 1024, 2048\}$
- $L_2 \in \{32, 64, 128, 256\}$

El feature set a utilizar es  $ALL[768]$ .

# Baseline: resultados



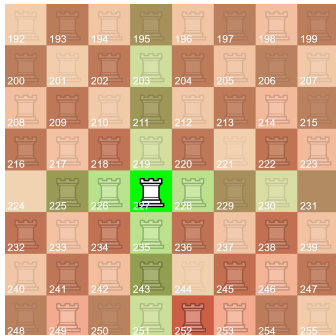
## Baseline: conclusión

- **L2=32.** El performance cae dramáticamente si L2 aumenta, utilizo el más bajo.
  - Sería buena idea probar valores más chicos de L2.

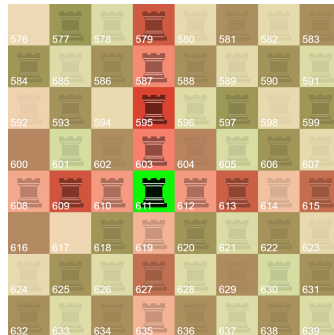
## Baseline: conclusión

- **L2=32.** El performance cae dramáticamente si L2 aumenta, utilizo el más bajo.
  - Sería buena idea probar valores más chicos de L2.
- **L1=512.** Es el mejor valor para L2=64 y L2=128, y en margen de error para L2=32.
  - Además es el más rápido de entrenar.

# Axis encoding: motivación



(a) ○ White



(b) ● Black

**Figure:** Weights of **a neuron** in the L1 layer, which are connected to features in ALL where the role is ♖ Rook. The intensity represents the weight value, and the color represents the sign (although not relevant).

## Conclusión

# Ajedrez

■ asdasd