

# Redes Neuronales y Deep Learning

Deep Learning y Series de tiempo



Marco Teran  
Universidad Sergio Arboleda

2023

# Contenido

- 1 Introducción
- 2 El Perceptrón
  - Funciones de activación
  - El perceptrón: ejemplo
- 3 Construyendo redes neuronales con Perceptrones
- 4 Aplicando redes neuronales
- 5 Entrenando redes neuronales
- 6 Redes neuronales en la práctica: Optimización
- 7 Redes neuronales en la práctica: Mini-lotes
- 8 Redes neuronales en la práctica: Sobreajuste (overfitting)

# Introducción

# Introducción

- Las redes neuronales densas (DNN) son una de las arquitecturas más comunes en el aprendizaje profundo.
- En una DNN, todas las neuronas de una capa están conectadas con todas las neuronas de la siguiente capa.
- Las redes neuronales densas son particularmente útiles en tareas de clasificación y regresión.

# Motivación

- A medida que los datos se propagan a través de las capas ocultas de una DNN, las características de entrada se convierten en características más abstractas y complejas.
- Las DNN pueden ser poderosas, pero también pueden ser propensas al sobreajuste.
- Las DNN se utilizan en una amplia variedad de aplicaciones, incluyendo el reconocimiento de imágenes, la clasificación de texto y la predicción de series de tiempo.

# **El Perceptrón**

## **La base estructural del aprendizaje profundo**

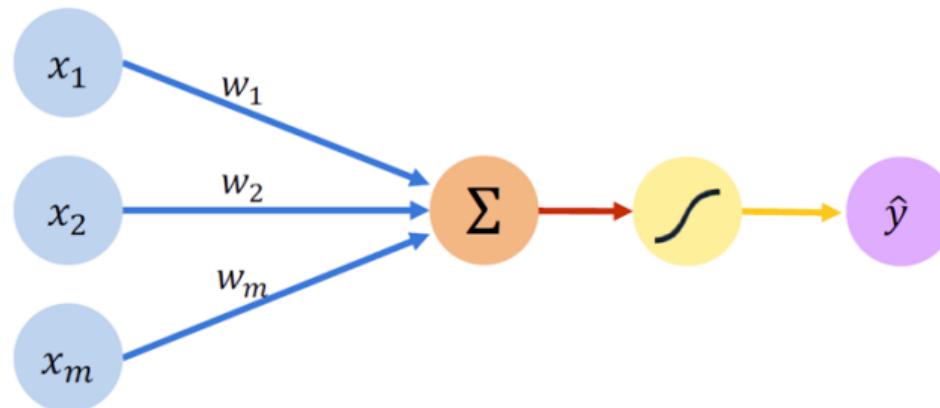
# El Perceptrón

## El Perceptrón

El perceptrón es un modelo de red neuronal artificial que se utiliza para la clasificación binaria de datos. Es capaz de aprender una función lineal que separa dos clases de datos en un espacio de características.

# El Perceptrón: Propagación hacia adelante

Forward Propagation



Combinación lineal de las entradas

↓

Salida

$\hat{y} = g \left( \sum_{i=1}^m x_i w_i \right)$

↑

Función de activación no lineal

$$\hat{y} = g \left( \sum_{i=1}^m x_i w_i \right)$$

Entrada

Pesos

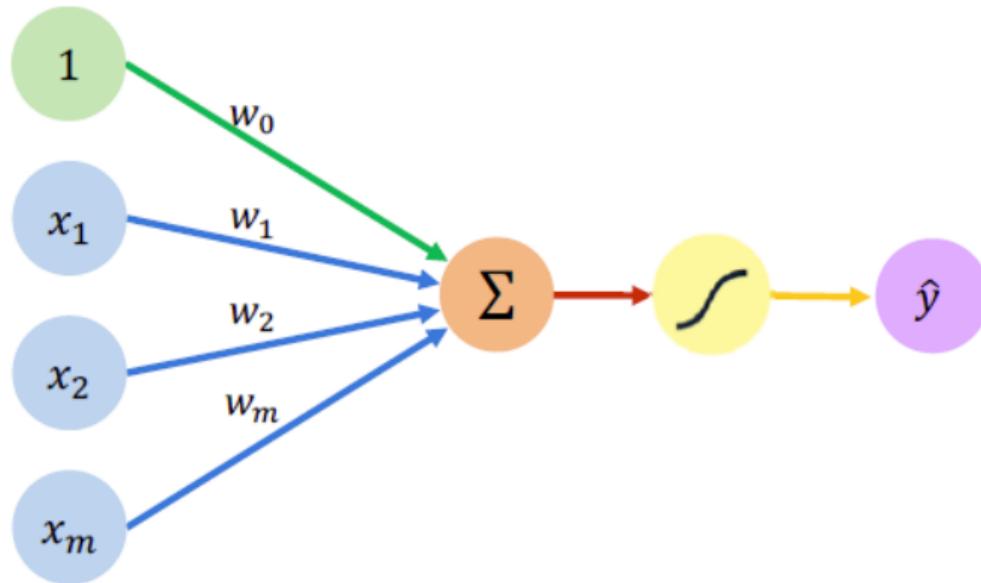
Suma

No linealidad

Salida

# El Perceptrón: Propagación hacia adelante

Forward Propagation



Combinación lineal de las entradas

$$\hat{y} = g \left( w_0 + \sum_{i=1}^m x_i w_i \right)$$

Salida

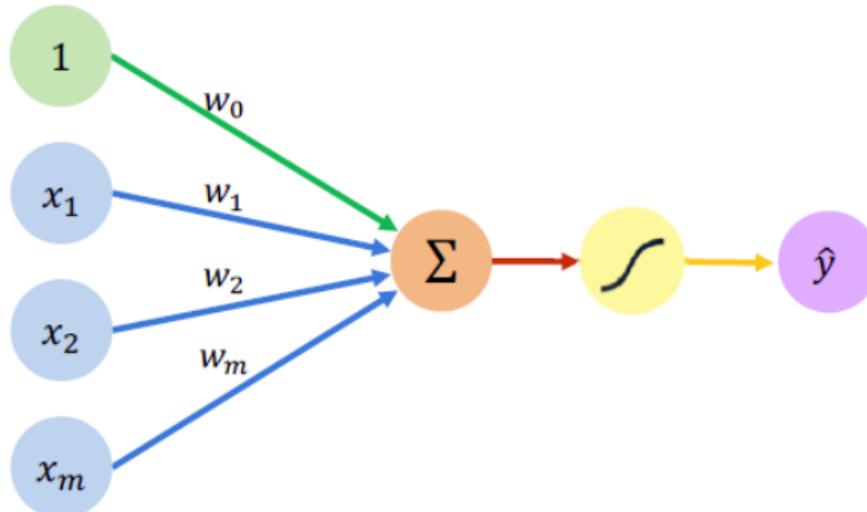
Bias

Función de activación no lineal

Entradas Pesos Suma No linealidad Salida

# El Perceptrón: Propagación hacia adelante

Forward Propagation



Entradas    Pesos              Suma    No linealidad    Salida

$$\hat{y} = g(w_o + \sum_{i=1}^m x_i w_i)$$

$$\hat{y} = g(w_o + \mathbf{X}^T \mathbf{W})$$

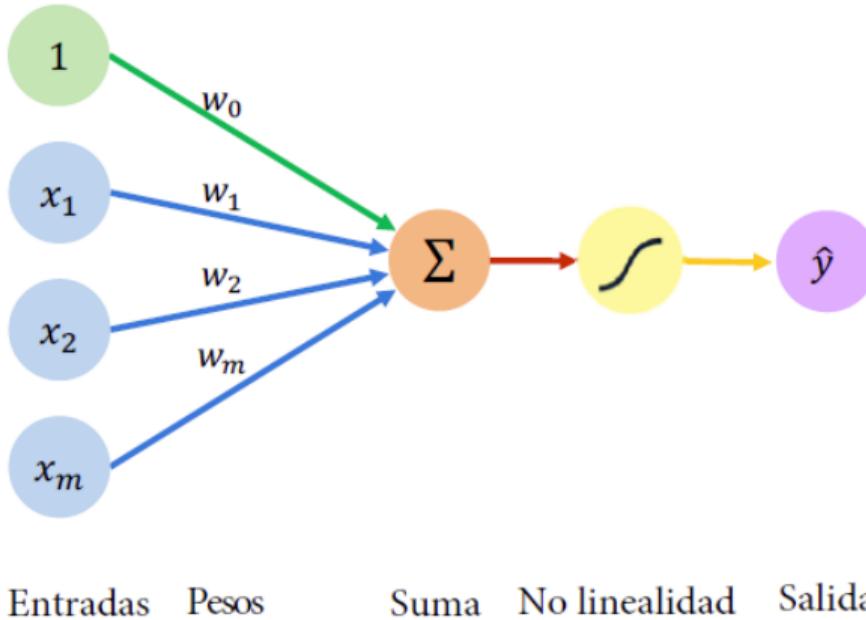
donde,

$$\mathbf{X} = \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \\ \vdots \\ x_N \end{bmatrix} \quad (1)$$

y

$$\mathbf{W} = \begin{bmatrix} w_1 \\ w_2 \\ \vdots \\ w_m \end{bmatrix} \quad (2)$$

# El Perceptrón: Propagación hacia adelante

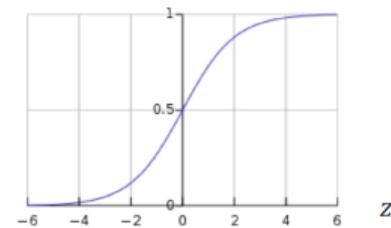


Función de activación

$$\hat{y} = g(w_o + \mathbf{X}^T \mathbf{W})$$

Ejemplo: función sigmoidal

$$g(z) = \sigma(z) = \frac{1}{1 + e^{-z}}$$



# Funciones de activación

# Funciones de activación

## Funciones de activación

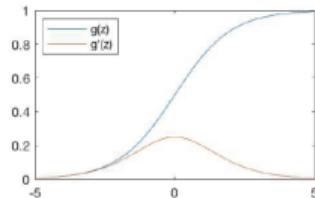
en las redes neuronales y son esenciales para el aprendizaje de patrones complejos en los datos. Las funciones de activación son elementos críticos en el diseño de una red neuronal profunda y tienen un impacto significativo en el rendimiento y la velocidad de convergencia del modelo.

# Características de las funciones de activación

- Deben ser diferenciables para permitir la retropropagación del gradiente en el proceso de entrenamiento de la red neuronal.
- Deben ser no-lineales para permitir la representación de patrones complejos en los datos.
- Deben ser acotadas para evitar la saturación de la salida de la red neuronal.

# Funciones de activación comunes

## Función sigmoidal

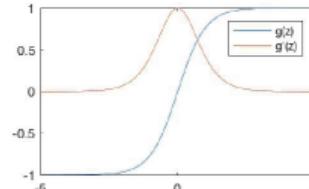


$$g(z) = \frac{1}{1+e^{-z}}$$

$$g'(z) = g(z)(1+g(z))$$

`tf.nn.sigmoid(z)`

## Tangente hiperbólica

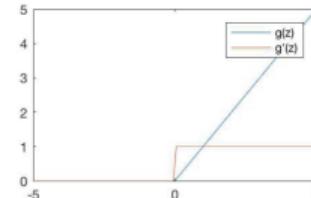


$$g(z) = \frac{e^z - e^{-z}}{e^z + e^{-z}}$$

$$g'(z) = 1 - g(z)^2$$

`tf.nn.tanh(z)`

## Rectified Linear Unit



$$g(z) = \max(0, z)$$

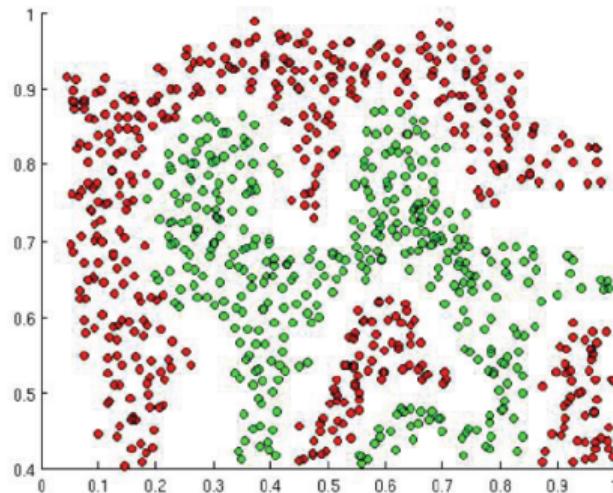
$$g'(z) = \begin{cases} 1, & \text{si } z > 0; \\ 0, & \text{otroscasos} \end{cases}$$

`tf.nn.relu(z)`

**NOTA:** Todas las funciones de activación son no lineales

# La importancia de las Funciones de activación

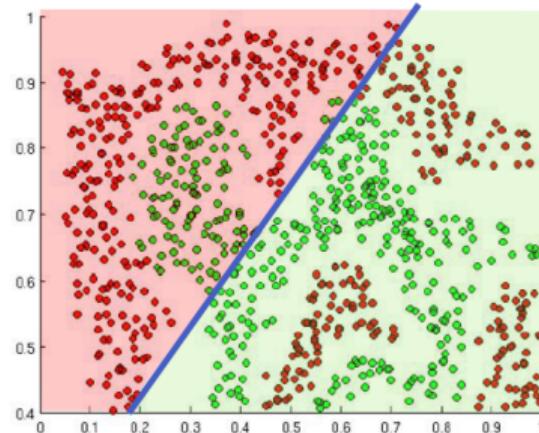
El propósito de las funciones de activación es **introducir las no linealidades** en la red



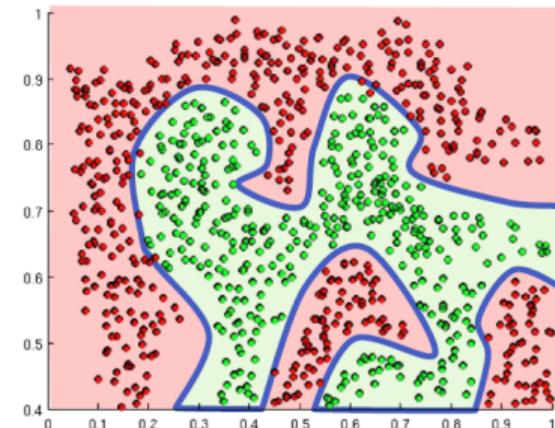
¿Y si quisieramos construir una red neuronal para distinguir los puntos verdes de los rojos?

# La importancia de las Funciones de activación

El propósito de las funciones de activación es **introducir las no linealidades** en la red



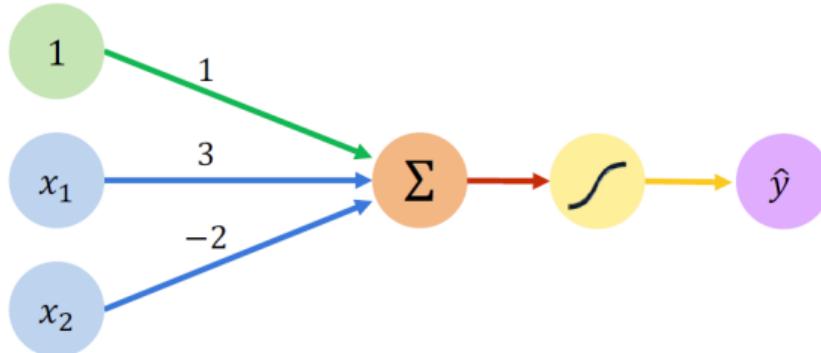
Las funciones de Activación Lineal producen decisiones lineales sin importar el tamaño de la red



Las no linealidades nos permiten aproximarnos a funciones arbitrariamente complejas

# El perceptrón: ejemplo

# El perceptrón: ejemplo

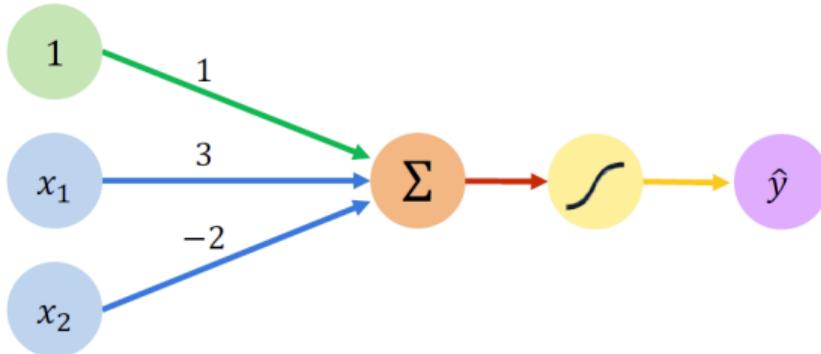


Tenemos:  $w_0 = 1$  y  $\mathbf{W} = \begin{bmatrix} 3 \\ -2 \end{bmatrix}$

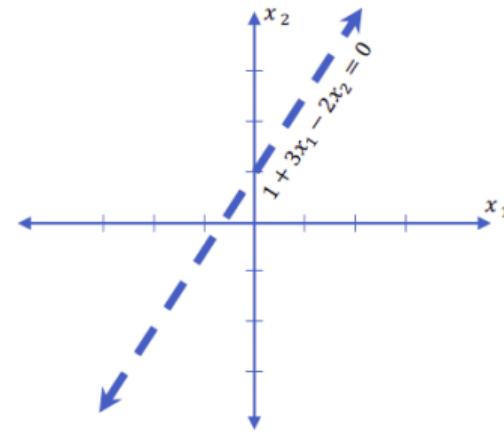
$$\begin{aligned}\hat{y} &= g(w_o + \mathbf{X}^T \mathbf{W}) \\ &= g\left(1 + \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \end{bmatrix}^T \begin{bmatrix} 3 \\ -2 \end{bmatrix}\right) \\ \hat{y} &= g(1 + 3x_1 - 2x_2)\end{aligned}$$

Esto es sólo una línea en 2D

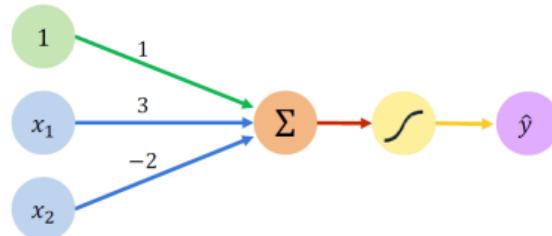
# El perceptrón: ejemplo



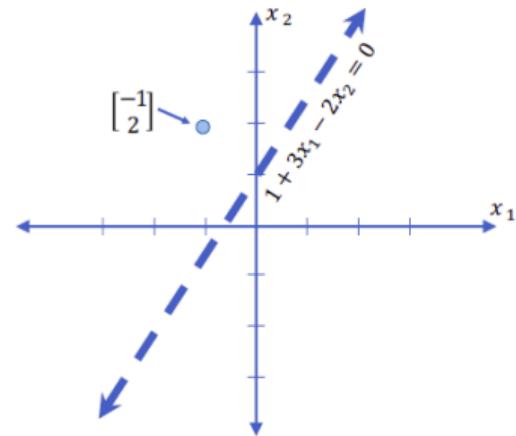
$$\hat{y} = g(1 + 3x_1 - 2x_2)$$



# El perceptrón: ejemplo



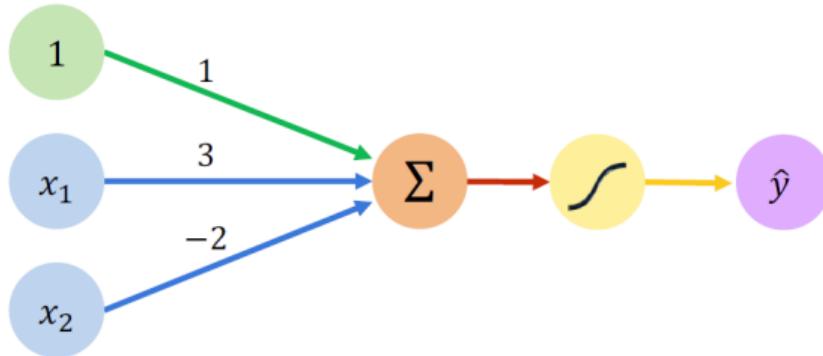
$$\hat{y} = g(1 + 3x_1 - 2x_2)$$



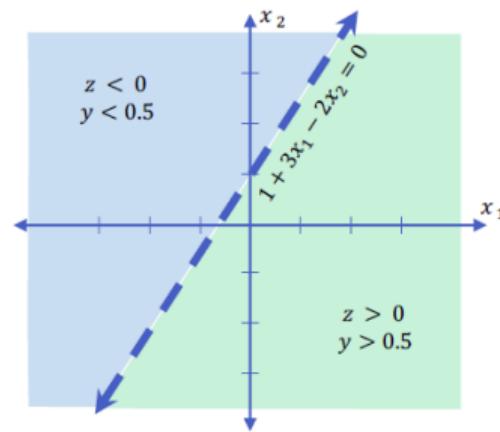
Asumimos una entrada  $\mathbf{X} = \begin{bmatrix} -1 \\ 2 \end{bmatrix}$

$$\begin{aligned}\hat{y} &= g(1 + 3(-1) - 2(2)) \\ &= g(-6) \approx 0.002\end{aligned}$$

# El perceptrón: ejemplo

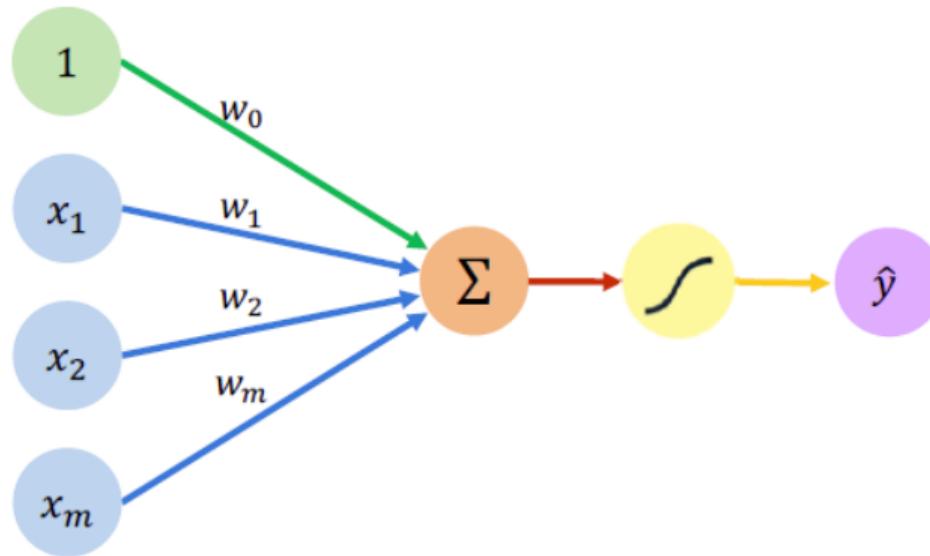


$$\hat{y} = g(1 + 3x_1 - 2x_2)$$



# **Construyendo redes neuronales con Perceptrones**

# El perceptrón simplificado



Entradas

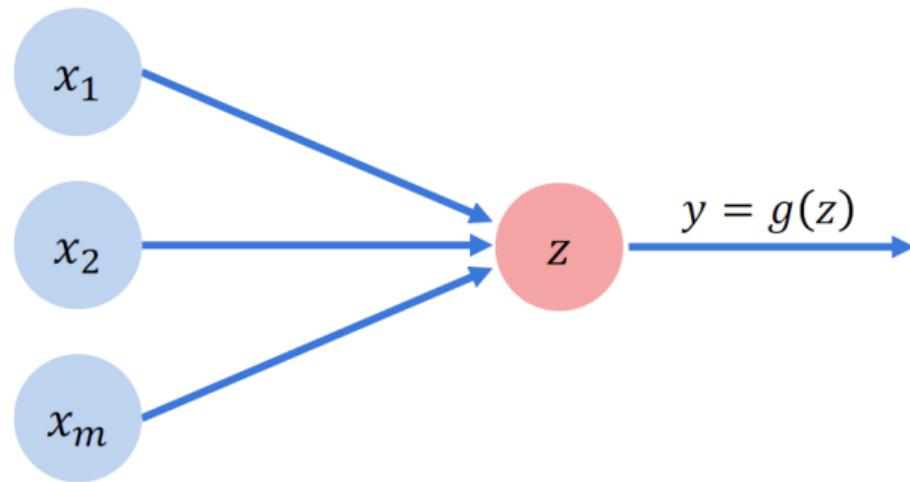
Pesos

Suma

No linealidad

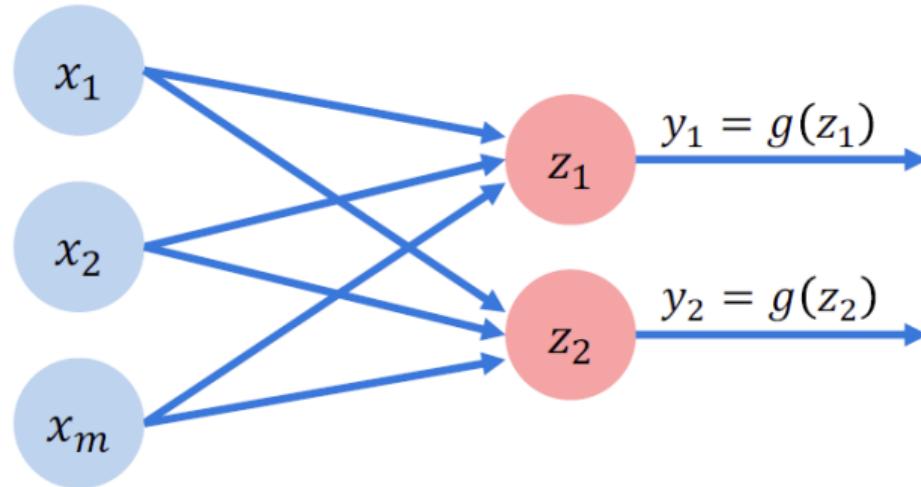
Salida

# El perceptrón simplificado



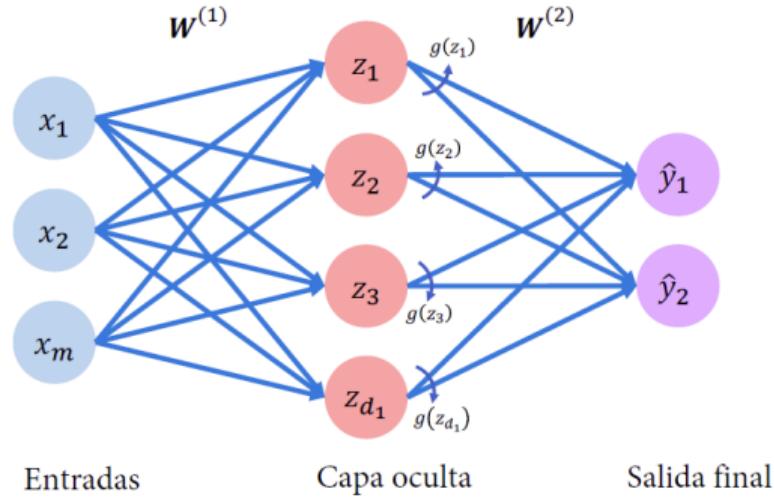
$$z = w_0 + \sum_{j=1}^m x_j w_j$$

# Perceptrón de salida múltiple



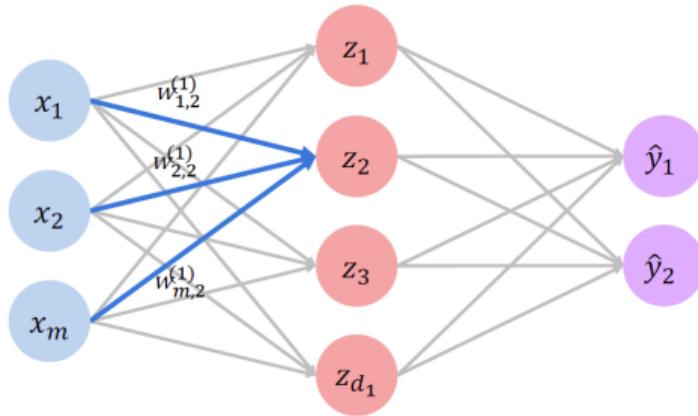
$$z_i = w_{0,i} + \sum_{j=1}^m x_j w_{j,i}$$

# Red neuronal de una sola capa



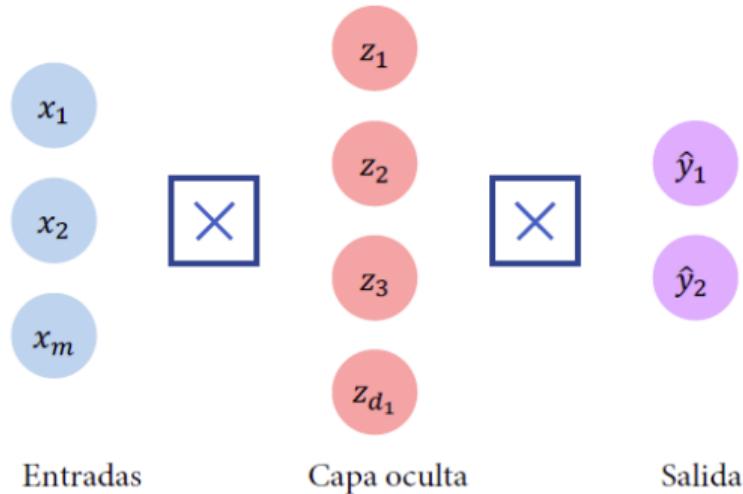
$$z_i = w_{0,i}^{(1)} + \sum_{j=1}^m x_j w_{j,i}^{(1)} \quad \hat{y} = g \left( w_{0,i}^{(2)} + \sum_{j=1}^{d_1} g(z_j) w_{j,i}^{(2)} \right)$$

# Red neuronal de una sola capa



$$\begin{aligned} z_2 &= w_{0,2}^{(1)} + \sum_{j=1}^m x_j w_{j,2}^{(1)} \\ &= w_{0,2}^{(1)} + x_1 w_{1,2}^{(1)} + x_2 w_{2,2}^{(1)} + x_m w_{m,2}^{(1)} \end{aligned}$$

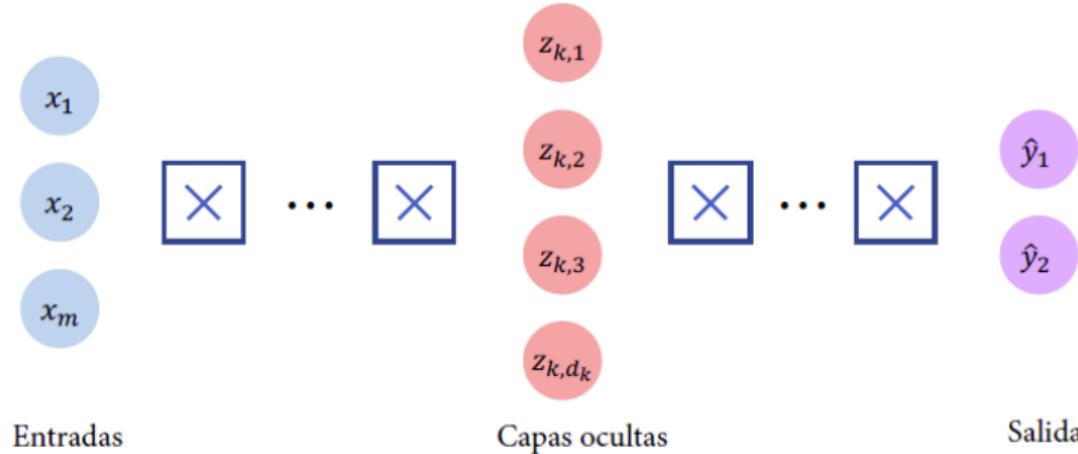
# Perceptrón de salida múltiple



```
from tf.keras.layers import *
inputs = Inputs(m)
hidden = Dense(d1)(inputs)
outputs = Dense(2)(hidden)
model = Model(inputs, outputs)
```

# Red Neuronal profunda

## Deep Neural Network



$$z_{k,i} = w_{0,i}^{(k)} + \sum_{j=1}^{d_k} g(z_{k-1,j}) w_{j,i}^{(k)}$$

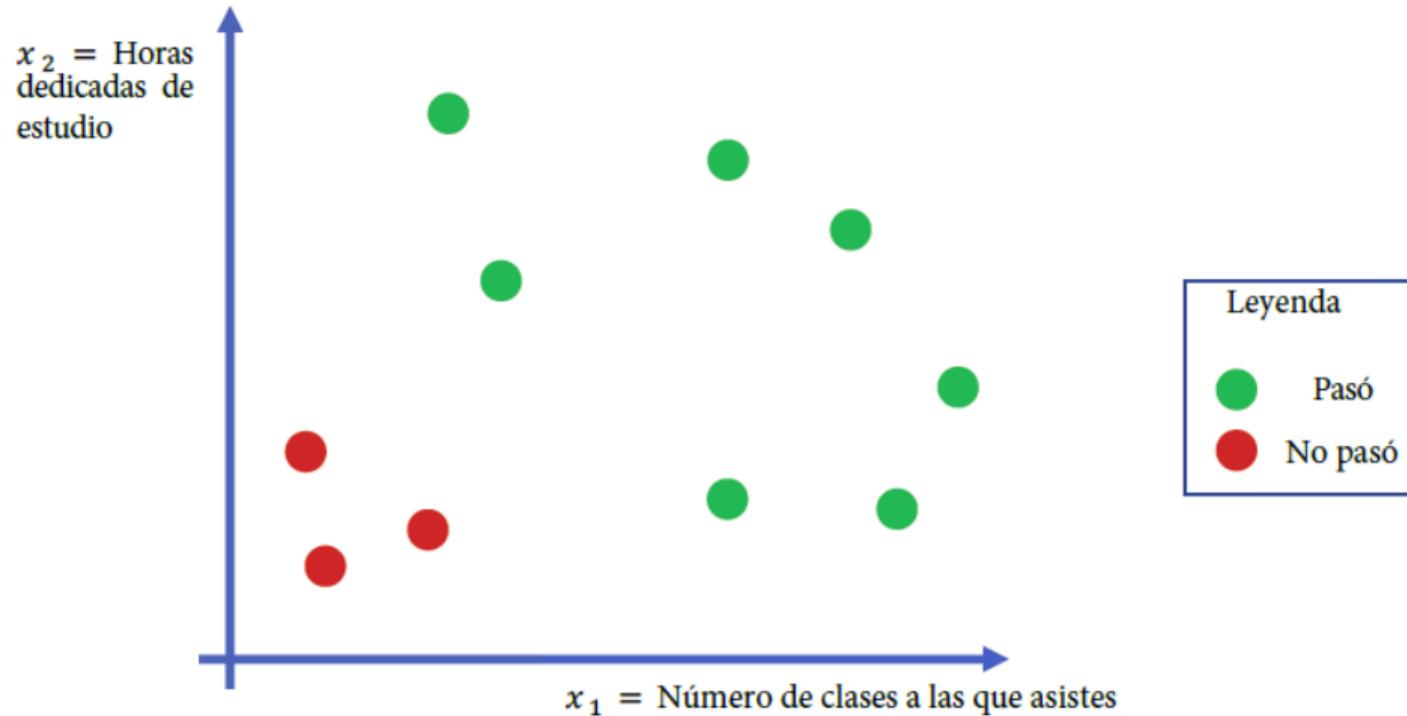
# **Aplicando redes neuronales**

# Problema de ejemplo

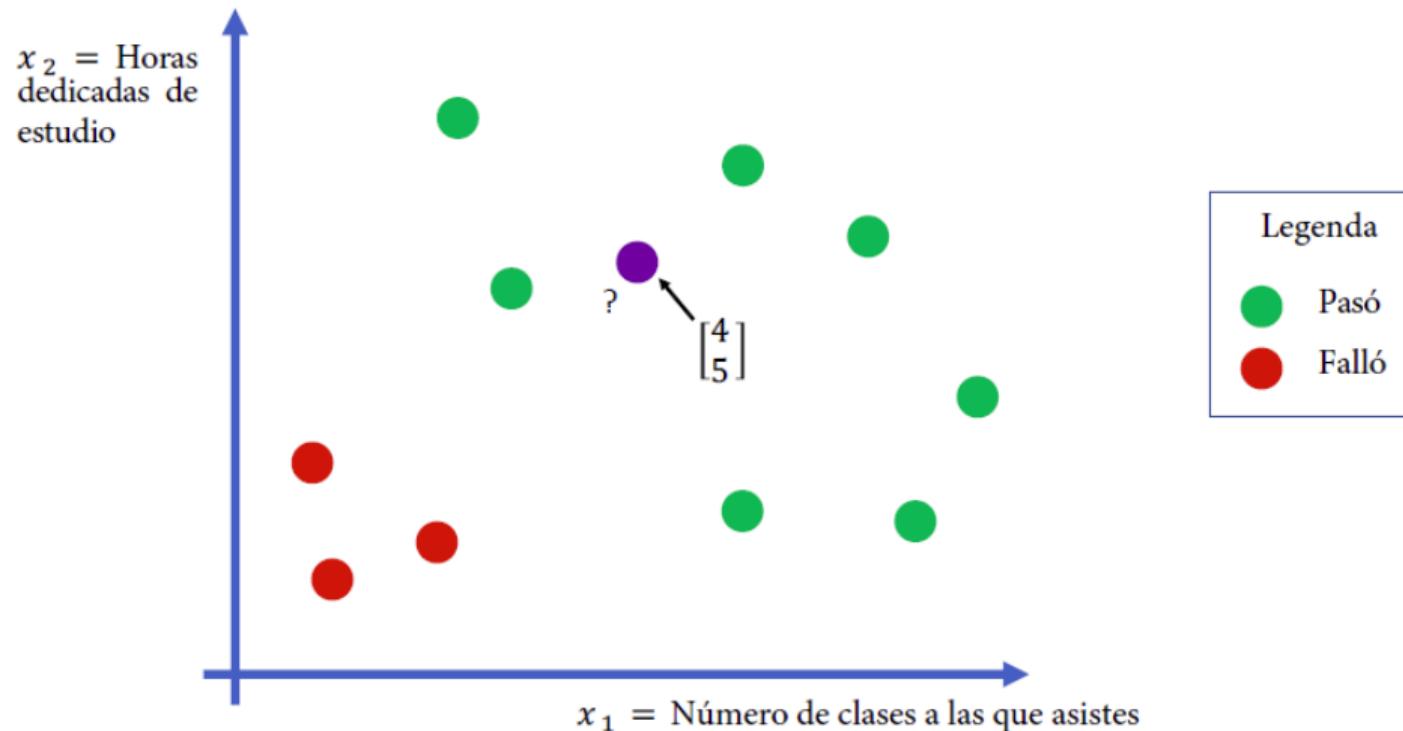
## ¿Pasaré esta asignatura?

Empecemos con un simple modelo de dos características:  
 $x_1$  – Número de clases a las que asistes  $x_2$  – Horas dedicadas  
de estudio

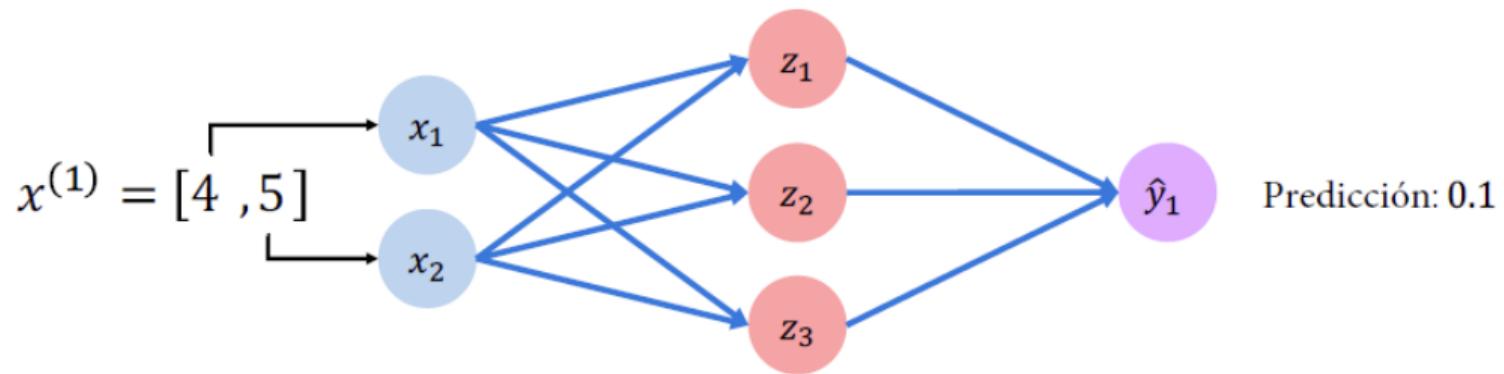
# Problema de ejemplo: ¿Pasaré esta clase?



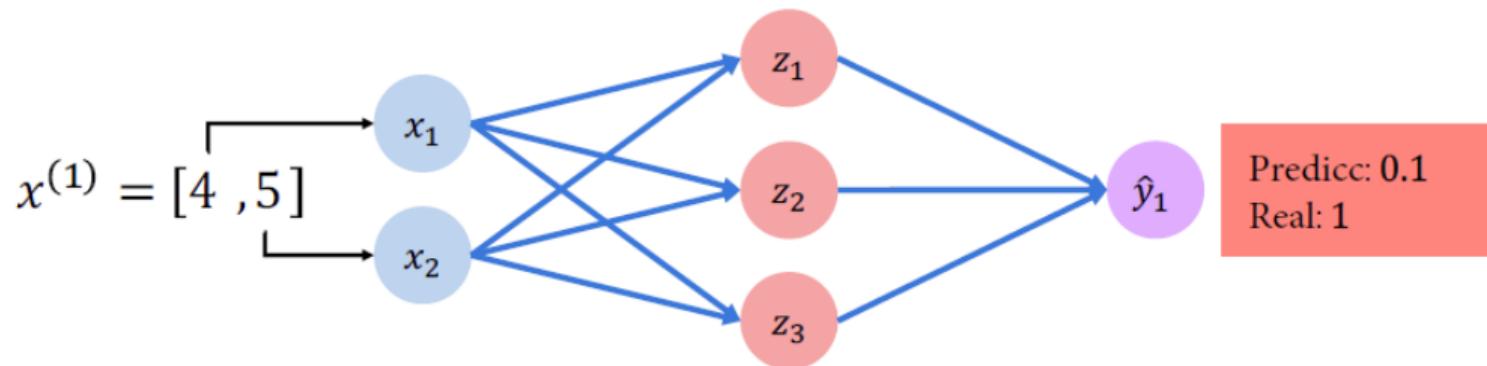
# Problema de ejemplo: ¿Pasaré esta clase?



# Problema de ejemplo: ¿Pasaré esta clase?

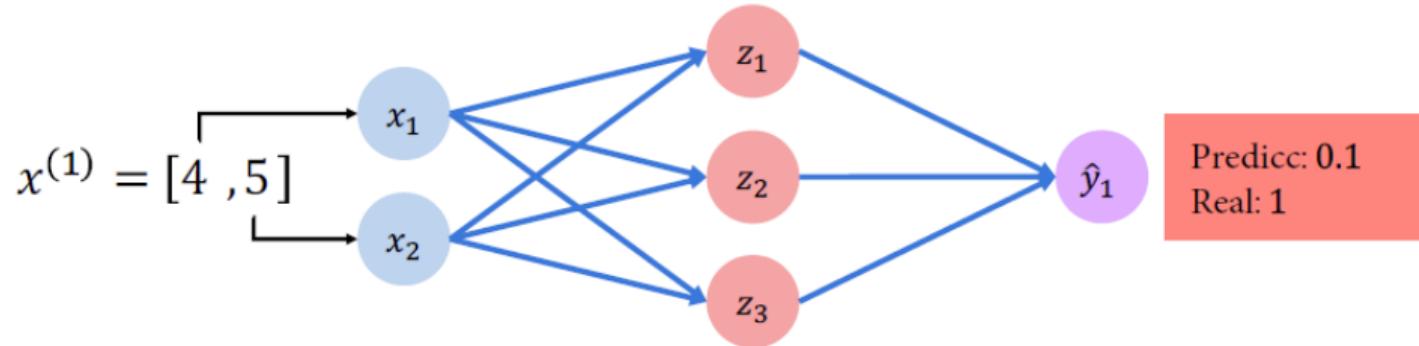


# Problema de ejemplo: ¿Pasaré esta clase?



# Cuantificación de las pérdidas

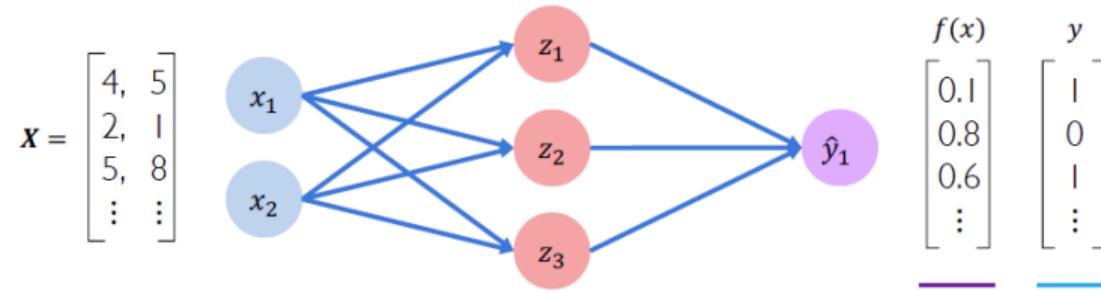
La pérdida (loss) de nuestra red mide el costo incurrido por las predicciones incorrectas



$$\frac{\mathcal{L}\left(f\left(x^{(i)}; \mathbf{W}\right), y^{(i)}\right)}{\text{Predicción}} \quad \frac{}{\text{Real}}$$

# Pérdidas empíricas

La pérdida empírica mide la pérdida total en todo nuestro conjunto de datos



$$J(W) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \mathcal{L}(f(x^{(i)}; W), y^{(i)})$$

Predicción      Real

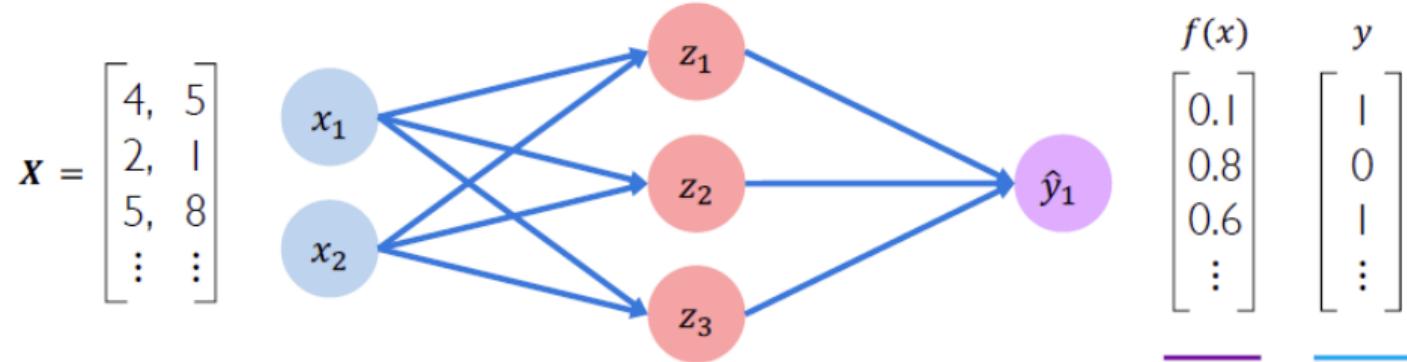
También conocida:

- Función objetivo
- Función de costo
- Riesgo empírico

# Entropía cruzada binaria

## Binary Cross Entropy Loss

La pérdida de entropía cruzada puede utilizarse con modelos que arrojan una probabilidad entre 0 y 1



$$J(\mathbf{W}) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \underbrace{y^{(i)} \log(f(x^{(i)}; \mathbf{W}))}_{\text{Real}} + \underbrace{(1 - y^{(i)}) \log(1 - f(x^{(i)}; \mathbf{W}))}_{\text{Real}}$$

Predicción      Predicción

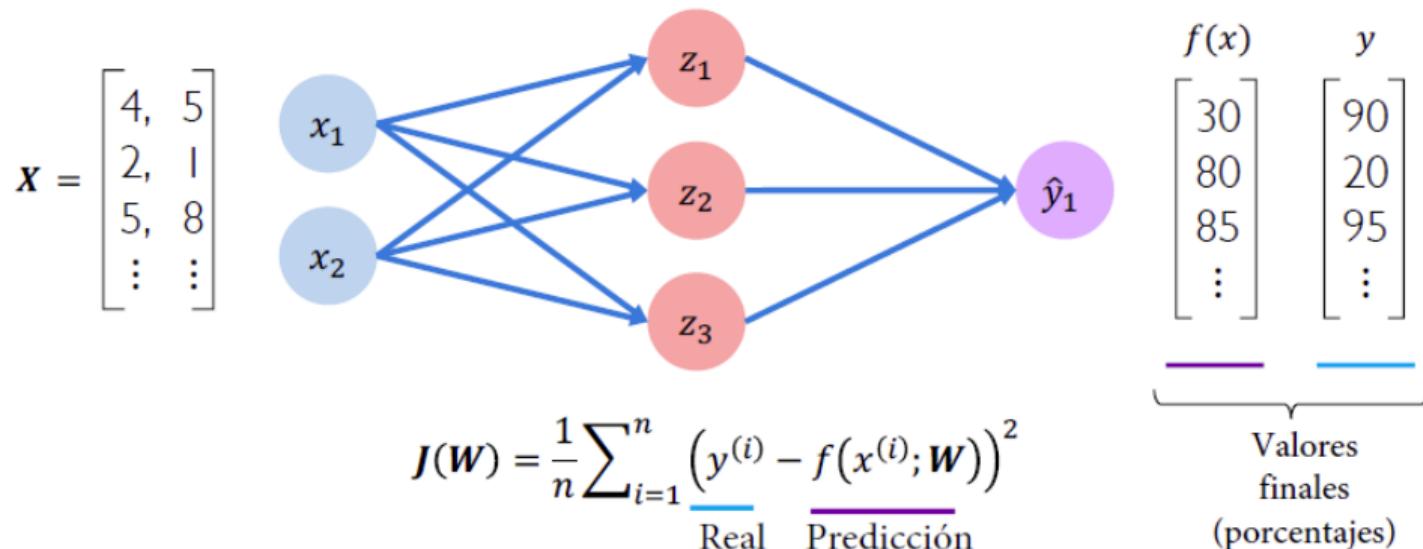


```
loss = tf.reduce_mean( tf.nn.softmax_cross_entropy_with_logits(model.y, model.pred) )
```

# Perdida del Error cuadrático medio

## Mean Squared Error Loss

La pérdida media de error al cuadrado se puede usar con modelos de regresión que producen números reales continuos



```
loss = tf.reduce_mean( tf.square(tf.subtract(model.y, model.pred) ) )
```

# Entrenando redes neuronales

# Optimización de la perdida

Queremos encontrar los pesos de la red que **logren la menor pérdida**

$$\mathbf{W}^* = \operatorname{argmin}_{\mathbf{W}} \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \mathcal{L}\left(f(x^{(i)}; \mathbf{W}), y^{(i)}\right)$$

$$\mathbf{W}^* = \operatorname{argmin}_{\mathbf{W}} J(\mathbf{W})$$

# Optimización de la perdida

Queremos encontrar los pesos de la red que **logren la menor pérdida**

$$\mathbf{W}^* = \operatorname{argmin}_{\mathbf{W}} \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \mathcal{L}\left(f(x^{(i)}; \mathbf{W}), y^{(i)}\right)$$

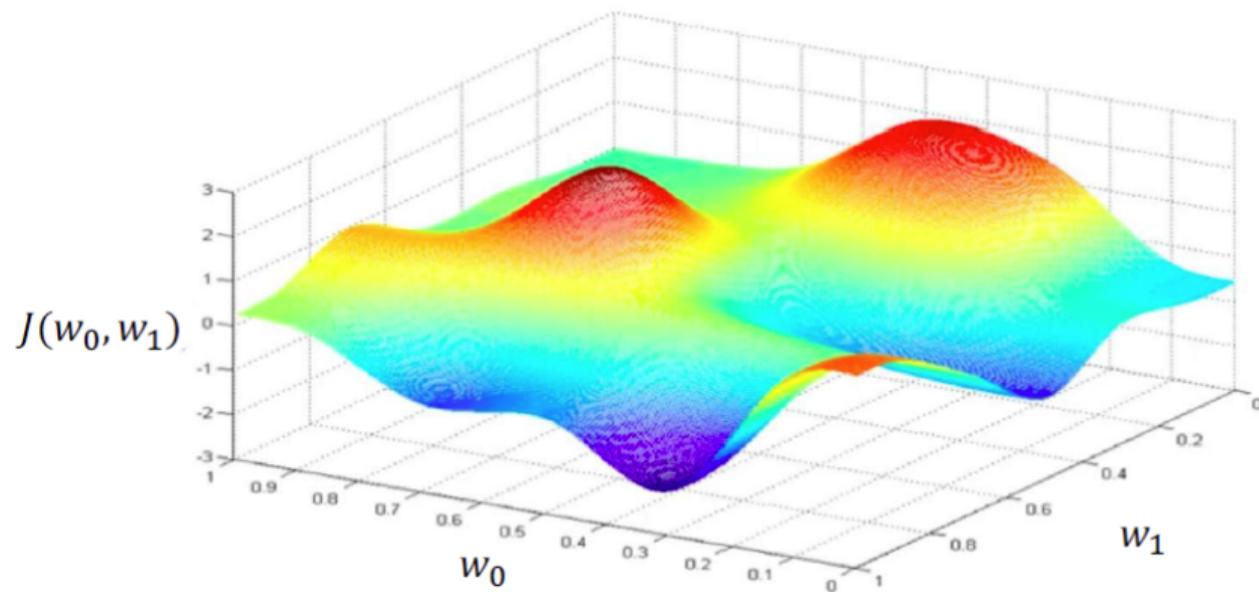
$$\mathbf{W}^* = \operatorname{argmin}_{\mathbf{W}} J(\mathbf{W})$$

Recuerda:

$$\mathbf{W} = \{\mathbf{W}^{(0)}, \mathbf{W}^{(1)}, \dots\}$$

# Optimización de la perdida

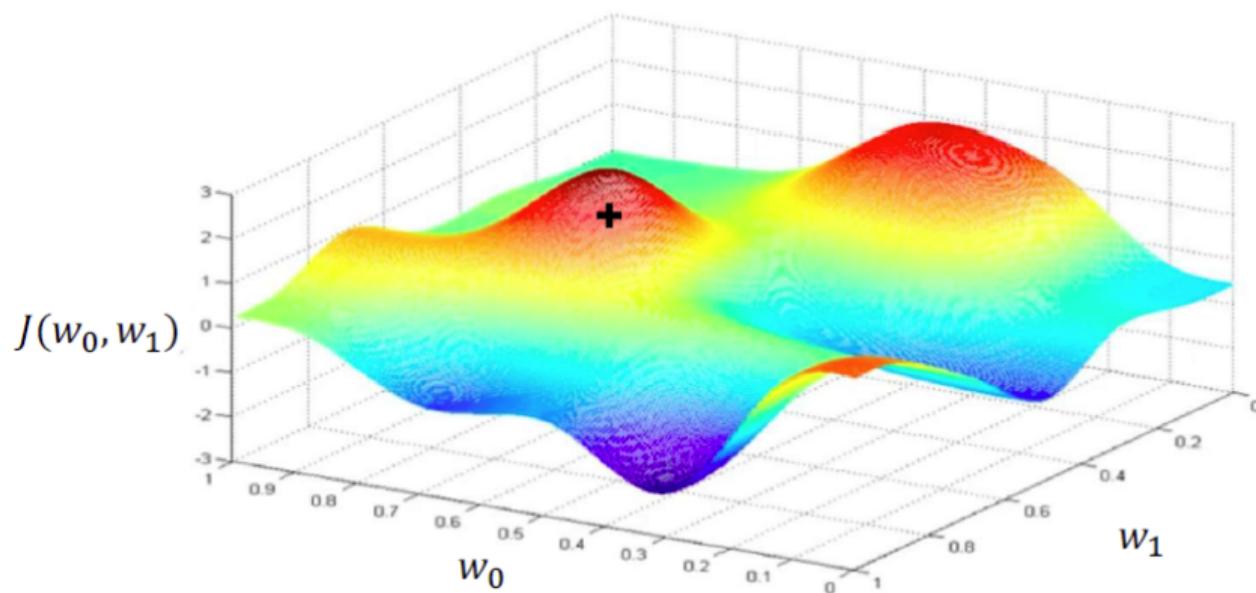
$$\mathbf{W}^* = \operatorname{argmin}_{\mathbf{W}} J(\mathbf{W})$$



Recuerde: Nuestra pérdida es una función de los pesos de la red.

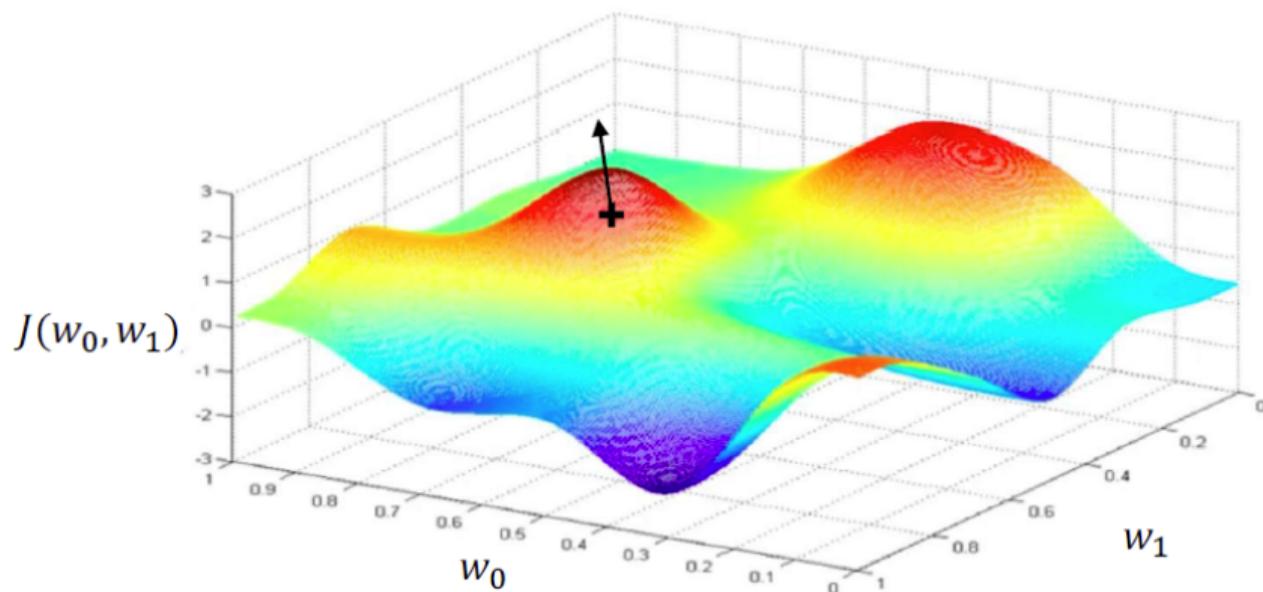
# Optimización de la perdida

Escoge al azar una inicial  $(w_0, w_1)$



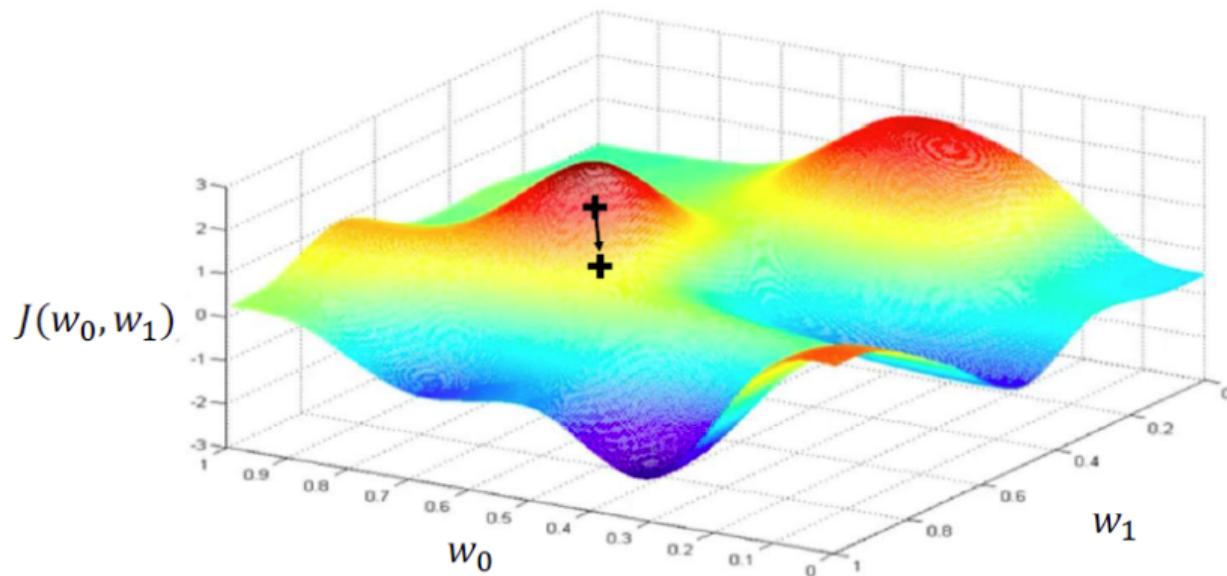
# Optimización de la perdida

Calculo del gradiente,  $\frac{\partial J(\mathbf{W})}{\partial \mathbf{W}}$



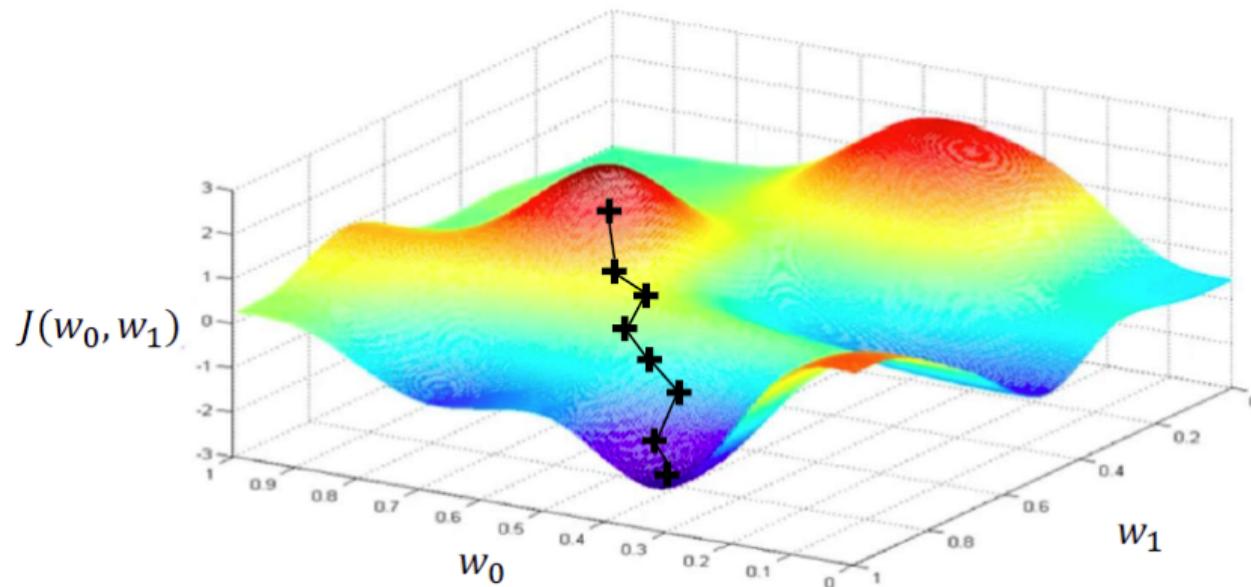
# Optimización de la perdida

De un pequeño paso en dirección opuesta al gradiente



# Gradiente descendente

Repita hasta la convergencia



# Gradiente descendente

## Algoritmo:

- Iniciar los pesos al azar  $\sim \mathcal{N}(0, \sigma^2)$

```
 weights = tf.random_normal(shape, stddev=sigma)
```

- Bucle hasta la convergencia:

- Calcular el gradiente  $\frac{\partial J(\mathbf{W})}{\partial \mathbf{W}}$

```
 grads = tf.gradients(ys=loss, xs=weights)
```

- Actualizar los pesos  $\mathbf{W} \leftarrow \mathbf{W} - \eta \frac{\partial J(\mathbf{W})}{\partial \mathbf{W}}$

```
 weights_new = weights.assign(weights - lr * grads)
```

- Devuelve los pesos

# Calculo del gradiente: Propagación hacia atrás

## Backpropagation



¿Cómo un pequeño cambio en un peso (ej.  $w_2$ ) afecta la pérdida final  $J(\mathbf{W})$ ?

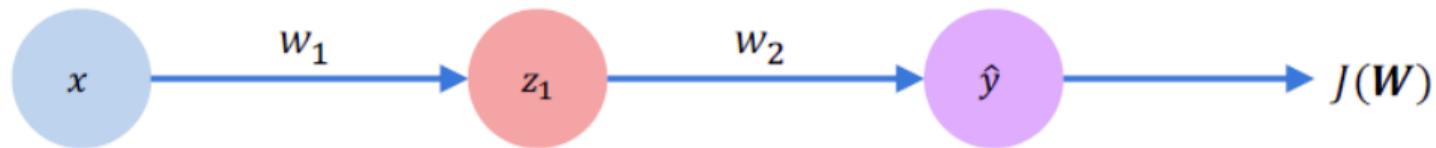
# Calculo del gradiente: Propagación hacia atrás



$$\frac{\partial J(W)}{\partial w_2} =$$

Aplicamos la regla de la cadena

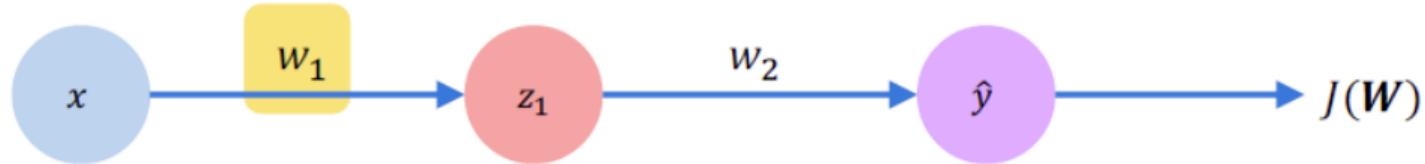
# Calculo del gradiente: Propagación hacia atrás



$$\frac{\partial J(\mathbf{W})}{\partial w_2} = \frac{\partial J(\mathbf{W})}{\partial \hat{y}} * \frac{\partial \hat{y}}{\partial w_2}$$



# Calculo del gradiente: Propagación hacia atrás

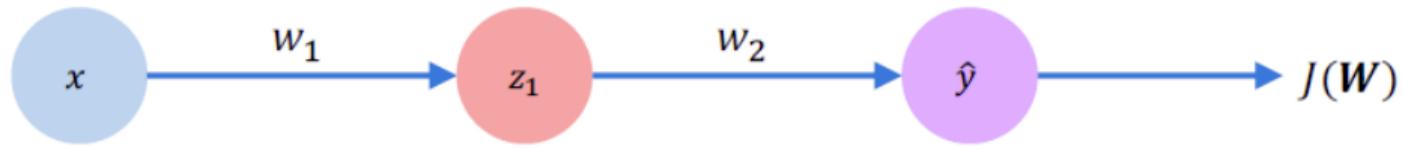


$$\frac{\partial J(W)}{\partial w_1} = \frac{\partial J(W)}{\partial \hat{y}} * \frac{\partial \hat{y}}{\partial w_1}$$

Aplicar regla de la cadena

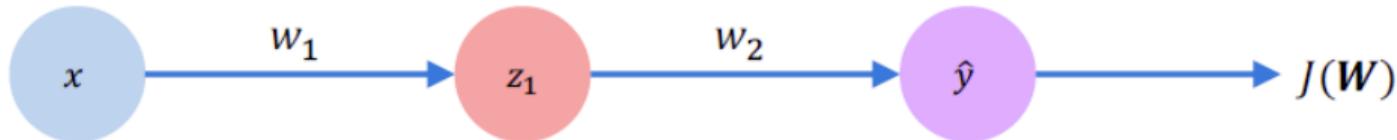
Aplicar regla de la cadena

# Calculo del gradiente: Propagación hacia atrás



$$\frac{\partial J(\mathbf{W})}{\partial w_1} = \underbrace{\frac{\partial J(\mathbf{W})}{\partial \hat{y}}}_{\text{purple bar}} * \underbrace{\frac{\partial \hat{y}}{\partial z_1}}_{\text{red bar}} * \underbrace{\frac{\partial z_1}{\partial w_1}}_{\text{blue bar}}$$

## Calculo del gradiente: Propagación hacia atrás

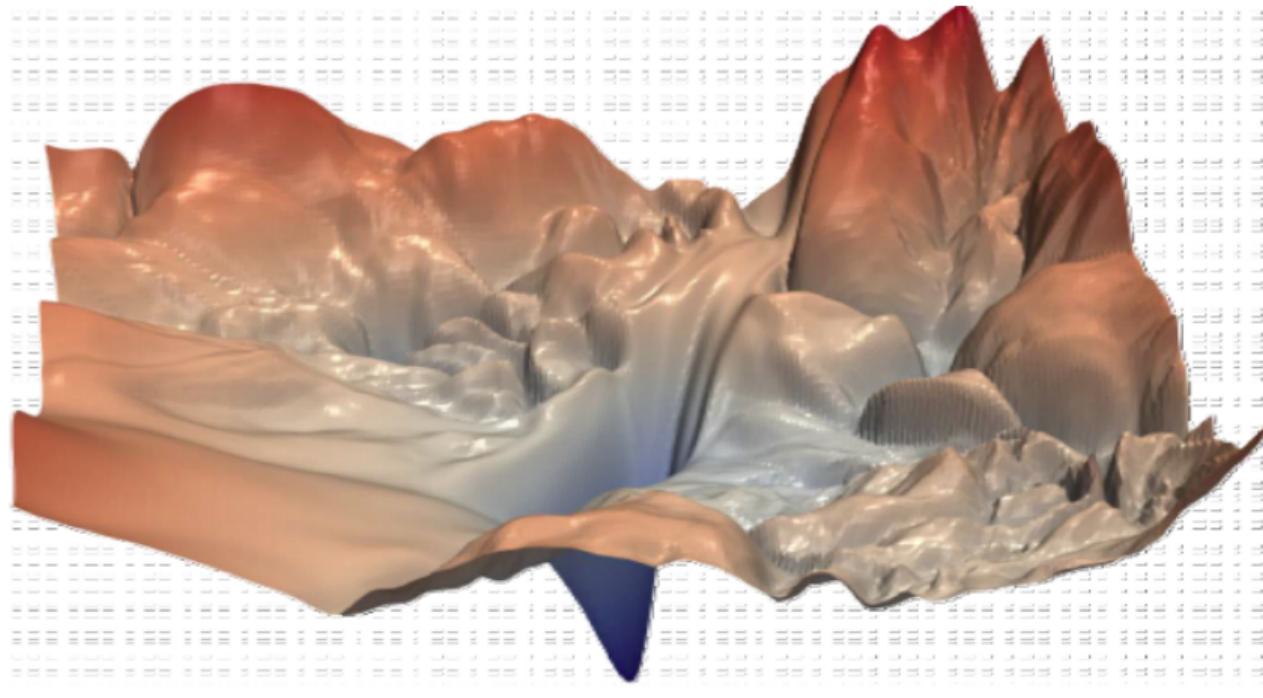


$$\frac{\partial J(\mathbf{W})}{\partial w_1} = \underbrace{\frac{\partial J(\mathbf{W})}{\partial \hat{y}}}_{\text{purple}} * \underbrace{\frac{\partial \hat{y}}{\partial z_1}}_{\text{red}} * \underbrace{\frac{\partial z_1}{\partial w_1}}_{\text{blue}}$$

Repita esto para cada peso en la red usando los gradientes de las capas posteriores

# **Redes neuronales en la práctica: Optimización**

# El entrenamiento de redes neuronales es complejo



"Visualizando el paisaje de pérdida de las redes neuronales". Diciembre de 2017.

## Las funciones de pérdida pueden ser difíciles de optimizar

**Recuerde:** Optimización a través del descenso del gradiente

$$\mathbf{W} \leftarrow \mathbf{W} - \eta \frac{\partial J(\mathbf{W})}{\partial \mathbf{W}}$$

## Las funciones de pérdida pueden ser difíciles de optimizar

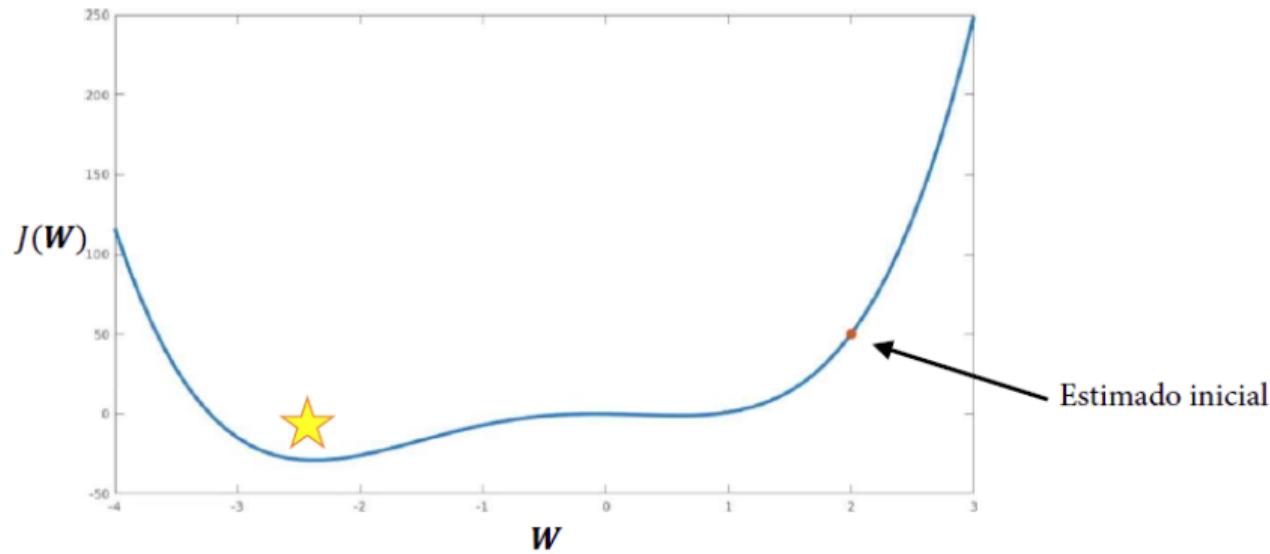
**Recuerde:** Optimización a través del descenso del gradiente

$$\mathbf{W} \leftarrow \mathbf{W} - \eta \frac{\partial J(\mathbf{W})}{\partial \mathbf{W}}$$

¿Cómo podemos establecer la tasa de aprendizaje? (*learning rate*)

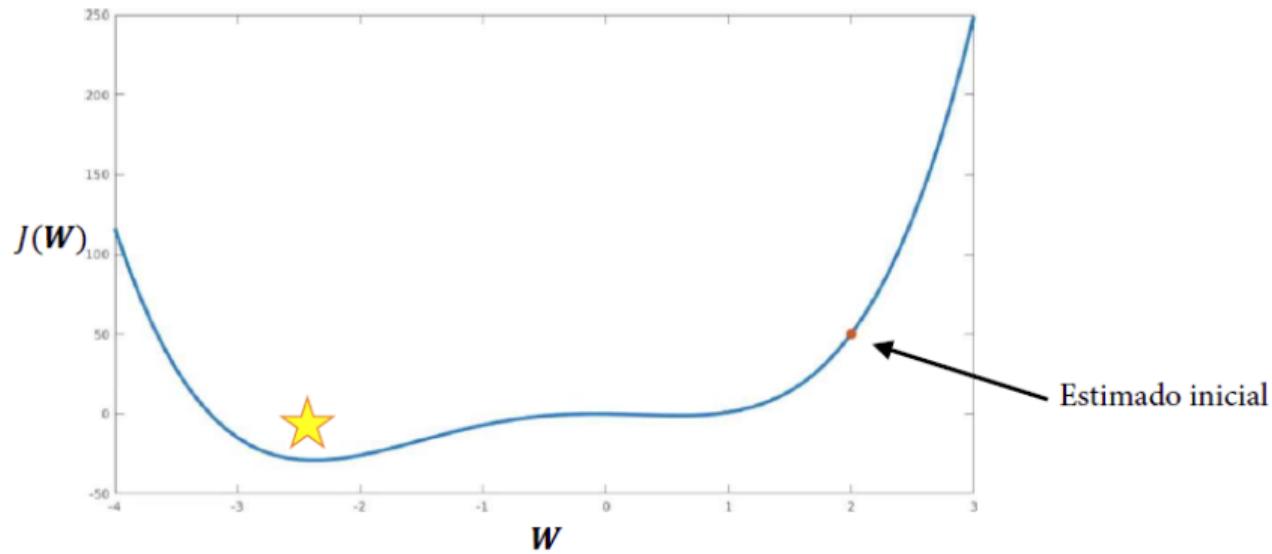
## Ajuste de la tasa de aprendizaje

**Recuerde:** Una pequeña tasa de aprendizaje converge lentamente y se atasca en falsos mínimos locales



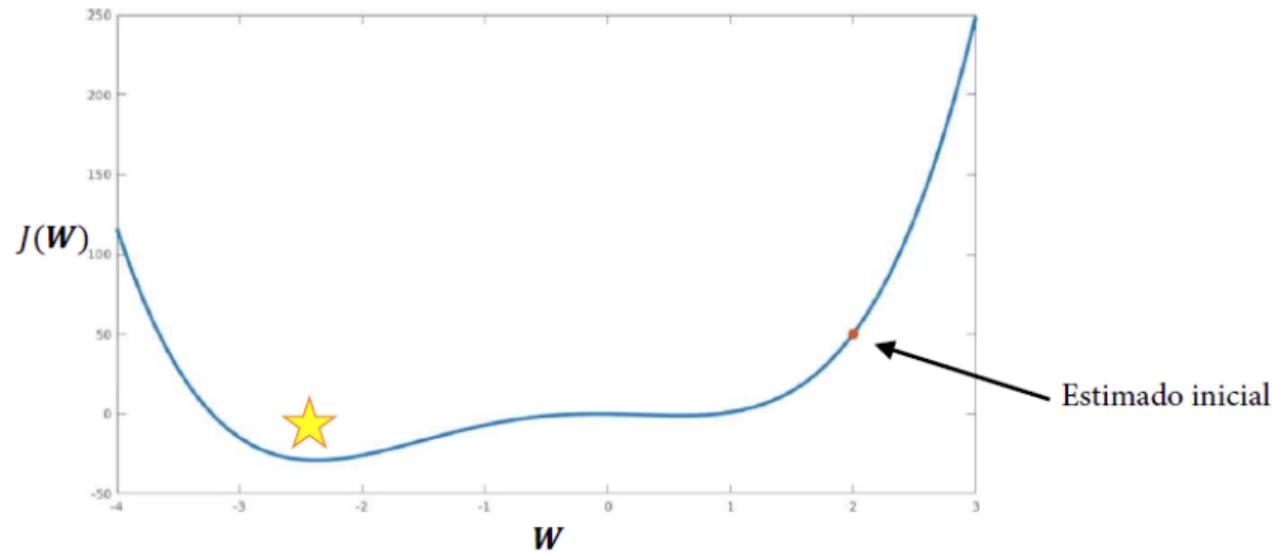
## Ajuste de la tasa de aprendizaje

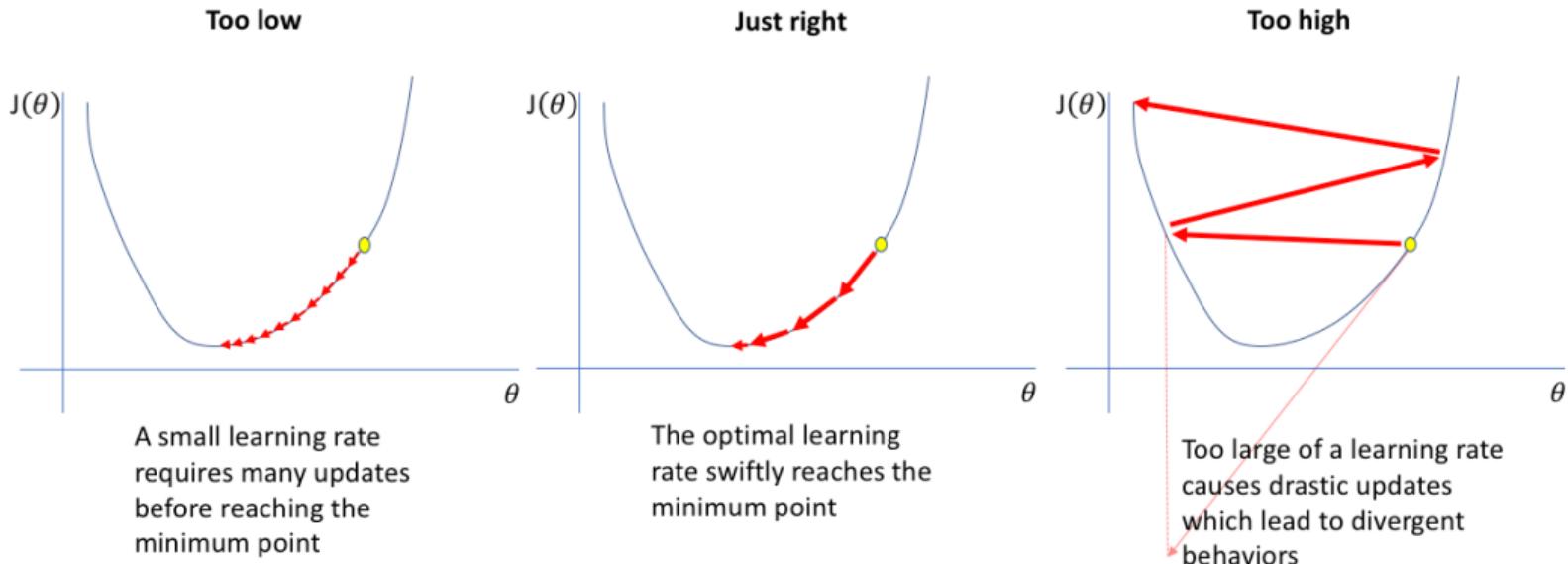
**Recuerde:** Las grandes tasas de aprendizaje se sobreponen, se vuelven inestables y divergen

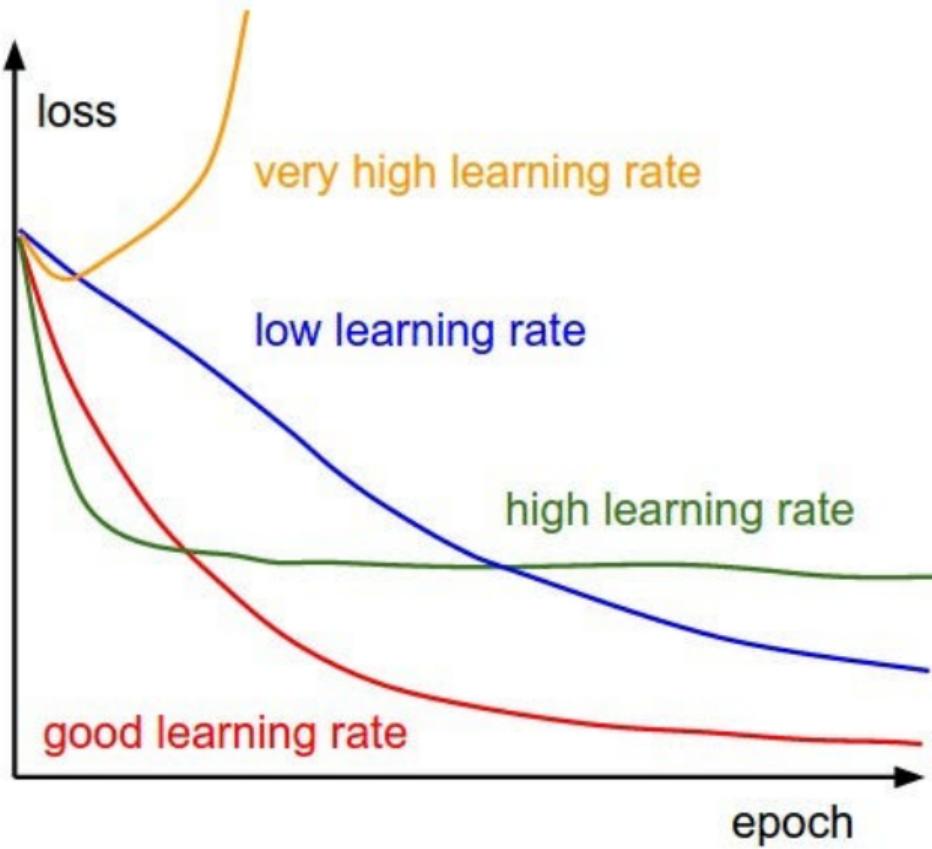


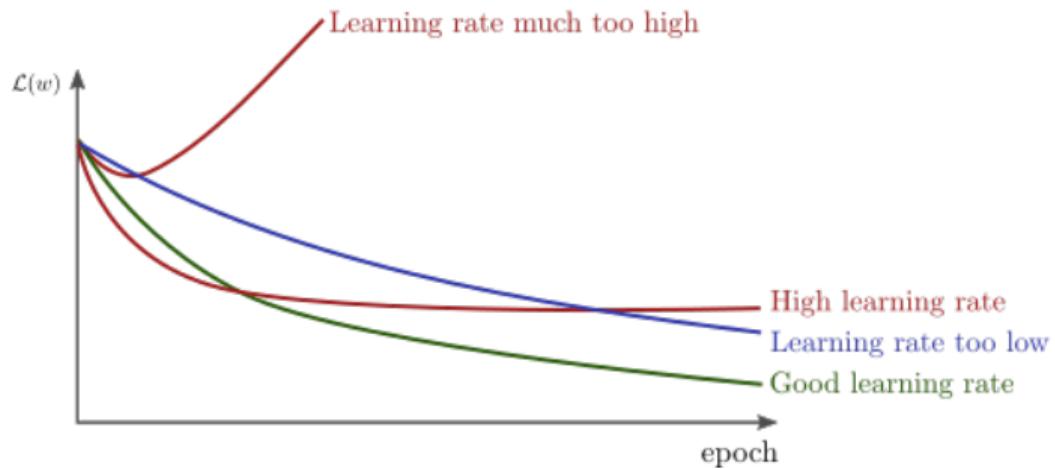
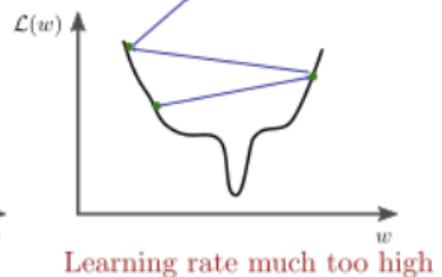
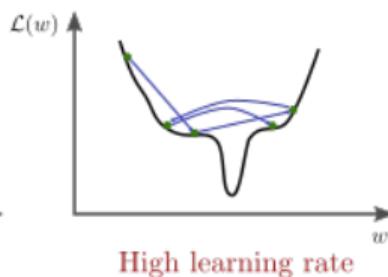
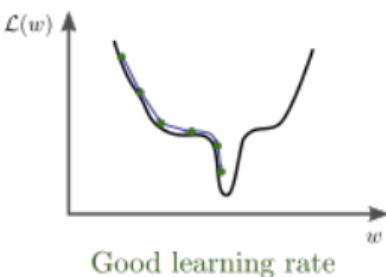
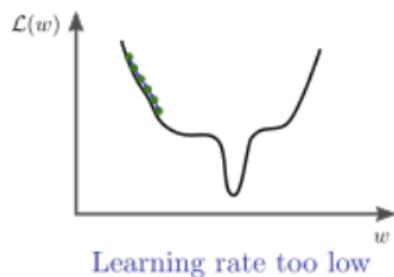
## Ajuste de la tasa de aprendizaje

**Recuerde:** Las tasas de aprendizaje estables convergen sin problemas y evitan los mínimos locales









## ¿Cómo se puede hacer frente a esto?

- **Idea 1:** Intentar muchas tasas de aprendizaje diferentes y ver cuál funciona "bien".
- **Idea 2:** ¡Haz algo más inteligente! Diseñar una tasa de aprendizaje adaptativo que se "adapte" al paisaje

# Tasas de aprendizaje adaptativas

- Las tasas de aprendizaje ya no son fijas
- Pueden hacerse más grandes o más pequeñas dependiendo de:
  - de cuán grande sea el gradiente
  - lo rápido que se está aprendiendo
  - tamaño de pesos particulares
  - etc...

# Algoritmos de tasas de aprendizaje adaptativas

- Momentum
- Adagrad
- Adadelta
- RMSProp

 tf.train.MomentumOptimizer

 tf.train.AdagradOptimizer

 tf.train.AdadeltaOptimizer

 tf.train.AdamOptimizer

 tf.train.RMSPropOptimizer

Detalles adicionales:

<http://ruder.io/optimizing-gradient-descent/>

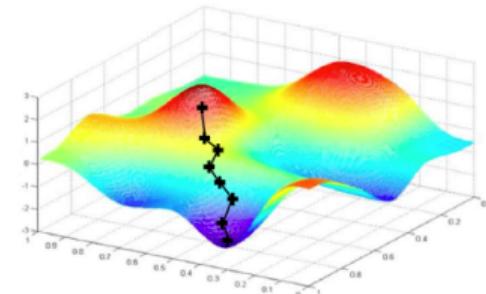
# **Redes neuronales en la práctica: Mini-lotes**

# Gradiente descendente

Algoritmo:

- Iniciar los pesos al azar  $\sim \mathcal{N}(0, \sigma^2)$
- Bucle hasta la convergencia:
  - Calcular el gradiente  $\frac{\partial J(\mathbf{W})}{\partial \mathbf{W}}$
  - Actualizar los pesos  $\mathbf{W} \leftarrow \mathbf{W} - \eta \frac{\partial J(\mathbf{W})}{\partial \mathbf{W}}$
- Devuelve los pesos

Difícil de calcular  $\frac{\partial J(\mathbf{W})}{\partial \mathbf{W}}$

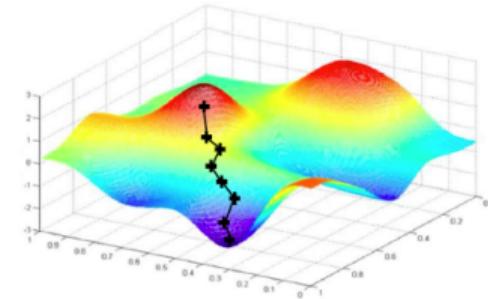


# Gradiente descendente estocástico

Algoritmo:

- Iniciar los pesos al azar  $\sim \mathcal{N}(0, \sigma^2)$
- Bucle hasta la convergencia:
  - Tomar un solo punto  $i$
  - Calcular el gradiente  $\frac{\partial J_i(\mathbf{W})}{\partial \mathbf{W}}$
  - Actualizar los pesos  $\mathbf{W} \leftarrow \mathbf{W} - \eta \frac{\partial J(\mathbf{W})}{\partial \mathbf{W}}$
- Devuelve los pesos

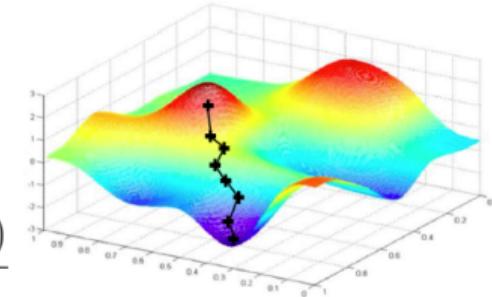
Fácil de calcular  $\frac{\partial J(\mathbf{W})}{\partial \mathbf{W}}$  pero muy ruidoso (estocástico)



# Gradiente descendente por Mini-lotes

Algoritmo:

- Iniciar los pesos al azar  $\sim \mathcal{N}(0, \sigma^2)$
- Bucle hasta la convergencia:
  - Tomar un lote (*mini-batch*) de puntos  $B$
  - Calcular el gradiente  $\frac{\partial J(\mathbf{W})}{\partial \mathbf{W}} = \frac{1}{B} \sum_{k=1}^B \frac{\partial J_k(\mathbf{W})}{\partial \mathbf{W}}$
  - Actualizar los pesos  $\mathbf{W} \leftarrow \mathbf{W} - \eta \frac{\partial J(\mathbf{W})}{\partial \mathbf{W}}$
- Devuelve los pesos



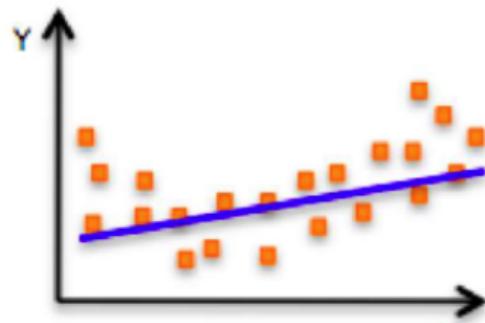
Rápido de calcular y una estimación mucho mejor del verdadero gradiente

# Mini-batches durante el entrenamiento

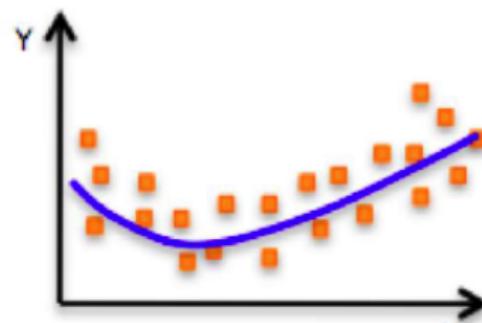
- Estimación más precisa del gradiente:
  - Una convergencia más suave
  - Permite mayores tasas de aprendizaje
- Los mini lotes conducen a un rápido entrenamiento
  - Puede parallelizar la computación + lograr aumentos significativos de velocidad en las GPU

# **Redes neuronales en la práctica: Sobreajuste (overfitting)**

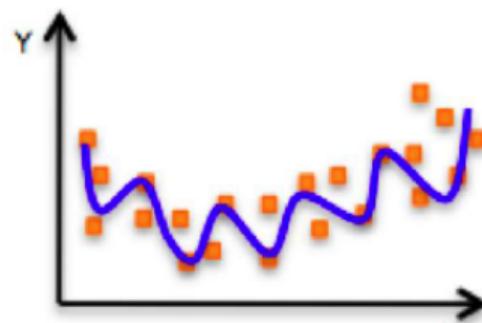
# El problema del sobreajuste



**Underfitting**  
El modelo no tiene capacidad  
para aprender completamente  
los datos



← Ajuste ideal →



**Overfitting**  
Demasiado complejo, parámetros  
adicionales, no se generaliza bien

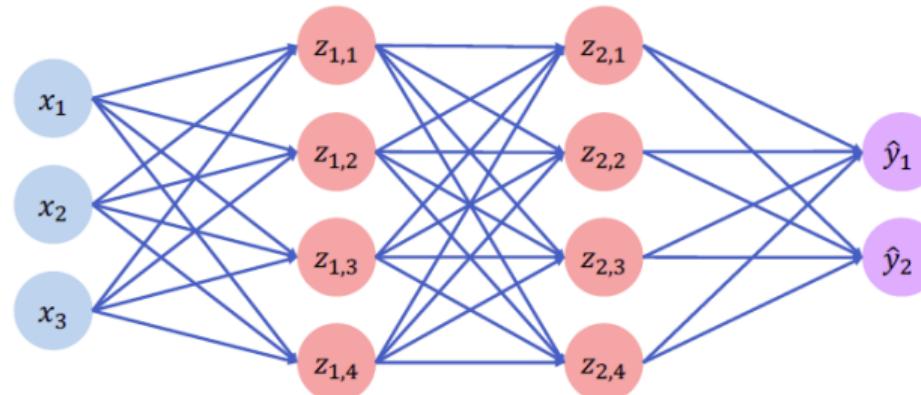
# Regularización

- **¿Qué es?** Técnica que limita nuestro problema de optimización para no incentivar la generación de modelos complejos
- **¿Por qué lo necesitamos?** Mejorar la generalización de nuestro modelo sobre datos no vistos

# Regularización I: Dropout

## **Abandono (Dropout)**

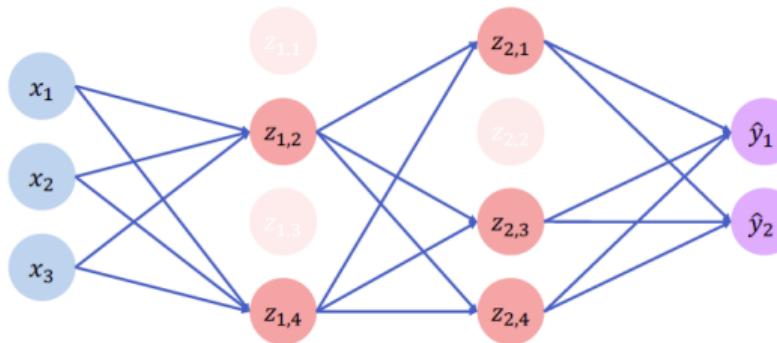
- Durante el entrenamiento, se fijan aleatoriamente algunas activaciones de neuronas en 0



# Regularización I: Dropout

## Abandono (*Dropout*)

- Durante el entrenamiento, se fijan aleatoriamente algunas activaciones de neuronas en 0
  - Generalmente se "da de baja" al 50% de las neuronas en una capa
  - Obliga a la red a no depender de ningún nodo

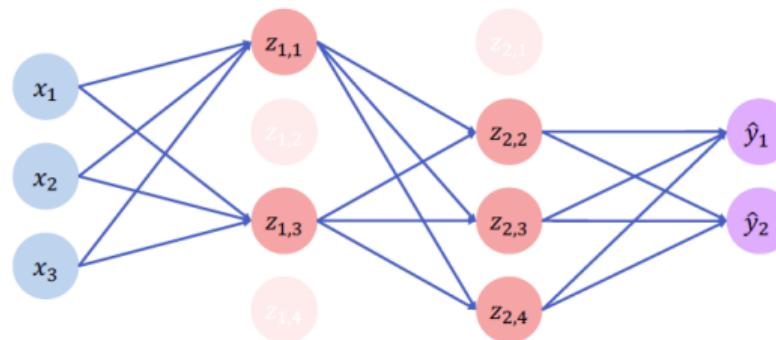


tf.keras.layers.Dropout (p=0.5)

# Regularización I: Dropout

## Abandono (*Dropout*)

- Durante el entrenamiento, se fijan aleatoriamente algunas activaciones de neuronas en 0
  - Generalmente se "da de baja" al 50% de las neuronas en una capa
  - Obliga a la red a no depender de ningún nodo



tf.keras.layers.Dropout (p=0.5)

## Regularización II: Parada temprana

### *Early Stopping*

- Detener el entrenamiento antes de empezar a sobreajustar...



## Regularización II: Parada temprana

- Detener el entrenamiento antes de empezar a sobreajustar...



## Regularización II: Parada temprana

- Detener el entrenamiento antes de empezar a sobreajustar...



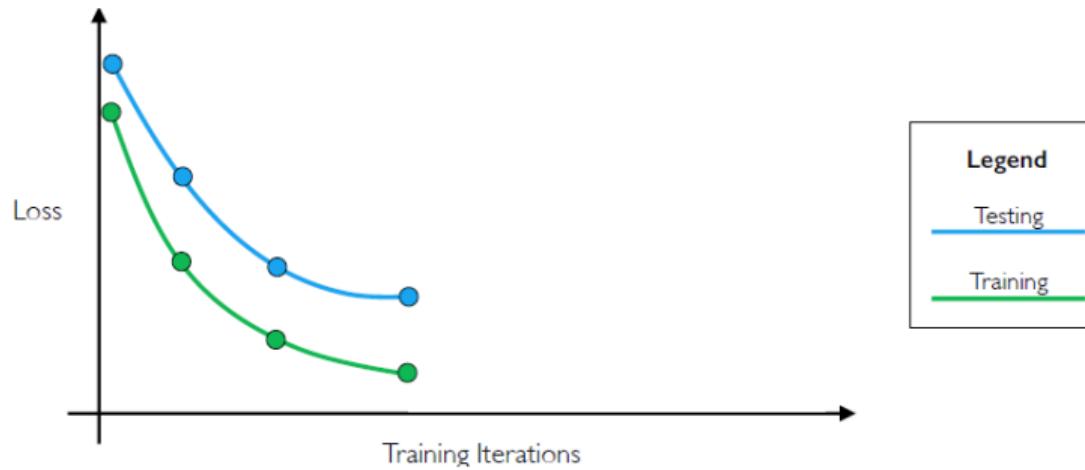
## Regularización II: Parada temprana

- Detener el entrenamiento antes de empezar a sobreajustar...



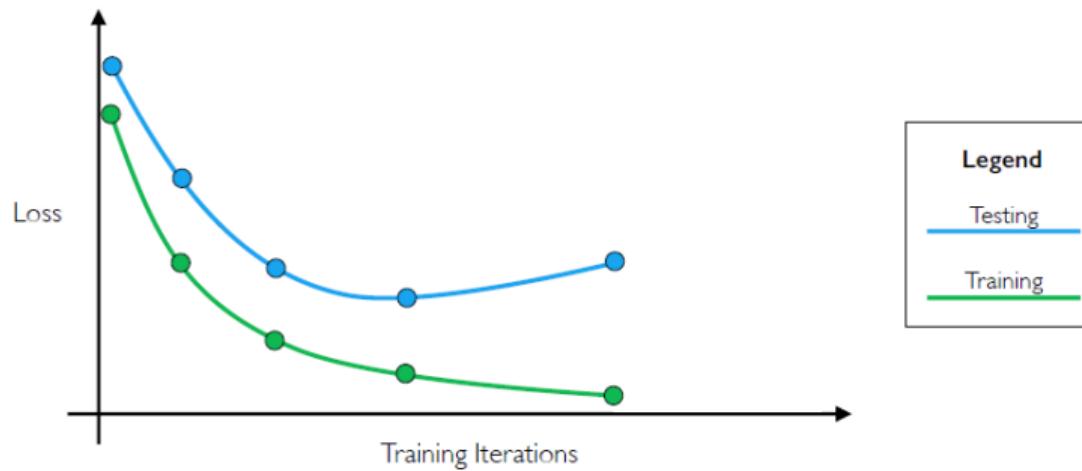
## Regularización II: Parada temprana

- Detener el entrenamiento antes de empezar a sobreajustar...



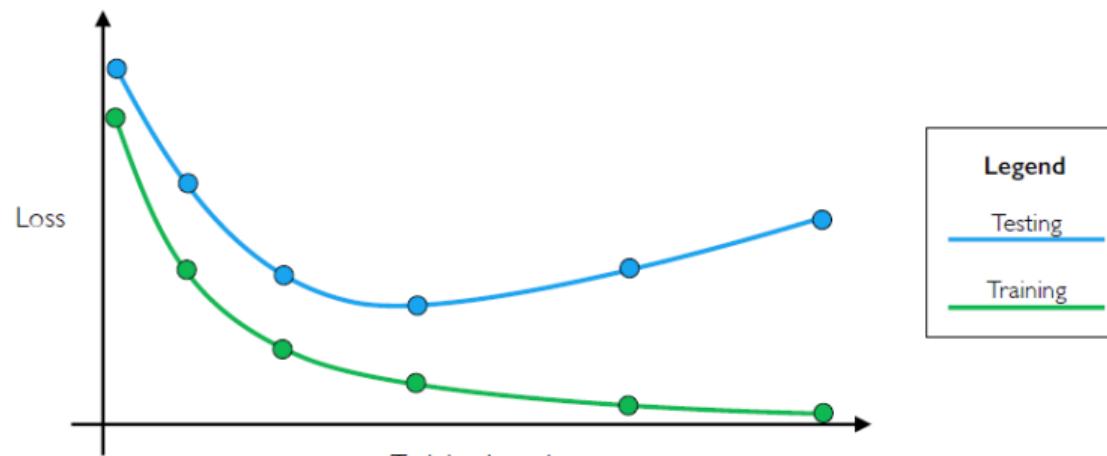
## Regularización II: Parada temprana

- Detener el entrenamiento antes de empezar a sobreajustar...



## Regularización II: Parada temprana

- Detener el entrenamiento antes de empezar a sobreajustar...



## Regularización II: Parada temprana

- Detener el entrenamiento antes de empezar a sobreajustar...



## Regularización II: Parada temprana

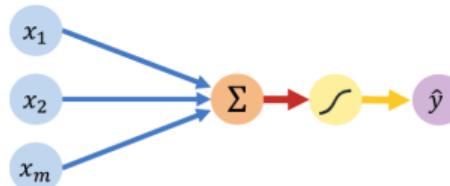
- Detener el entrenamiento antes de empezar a sobreajustar...



# Review

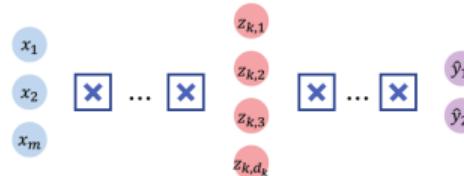
## El Perceptrón

- Los bloques de construcción estructurales
- Funciones de activación no lineal



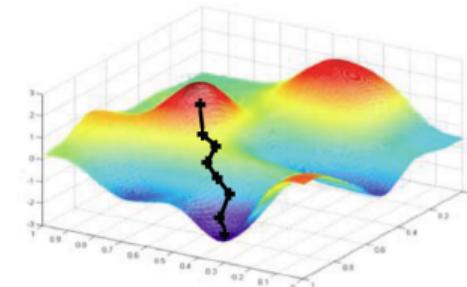
## Redes neuronales

- Apilando perceptrones para formar redes neuronales
- Optimización a través de la retropropagación (backpropagation)



## Entrenamiento en práctica

- Aprendizaje adaptativo
- *Batching*
- Regularización



# ¡Muchas gracias por su atención!

*¿Preguntas?*



Contacto: Marco Teran  
webpage: [marcoteran.github.io/](https://marcoteran.github.io/)  
e-mail: [marco.teran@usa.edu.co](mailto:marco.teran@usa.edu.co)

