



Aprendizaje Automático Profundo (Deep Learning)

Dr. Facundo Quiroga - Dr. Franco Ronchetti

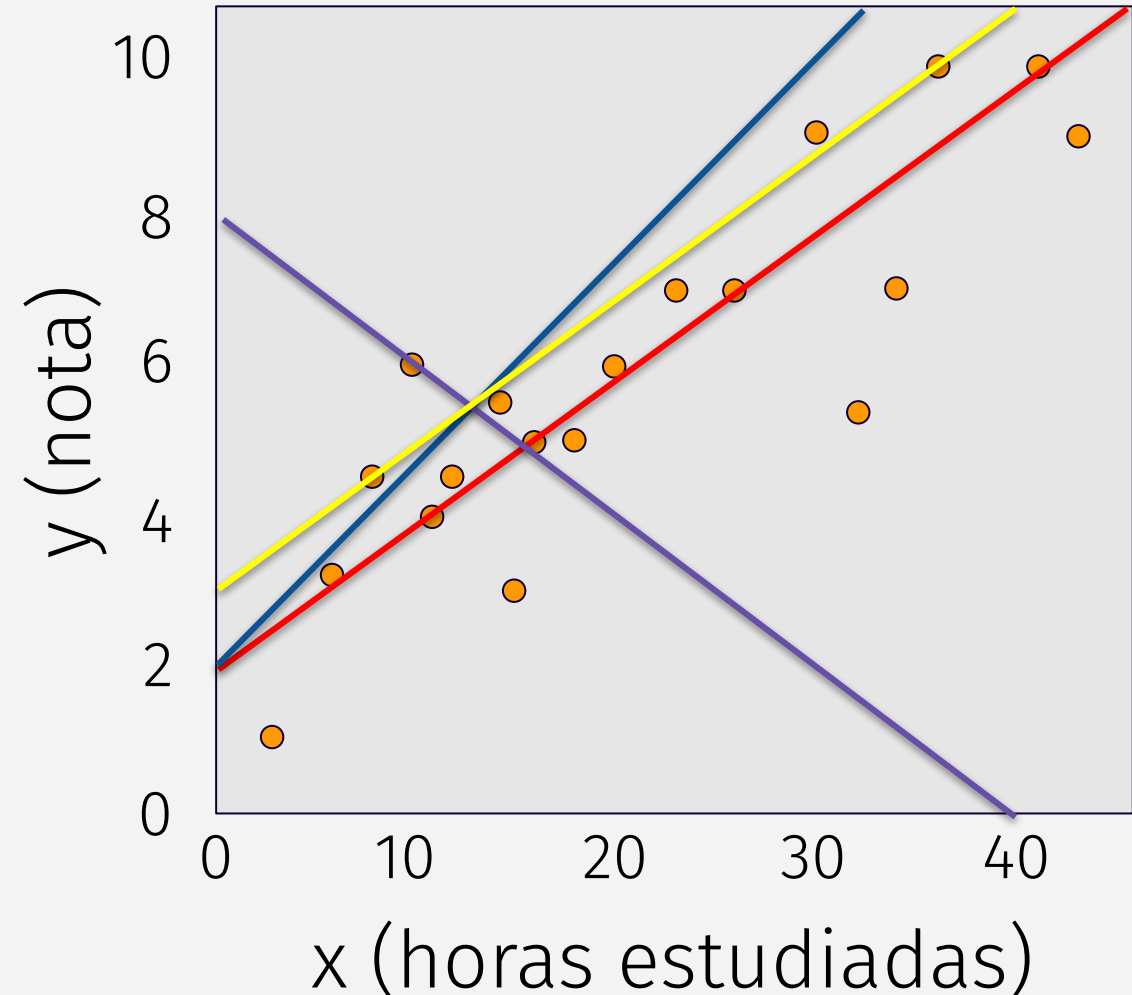


Regresión Lineal

Descenso de Gradiente

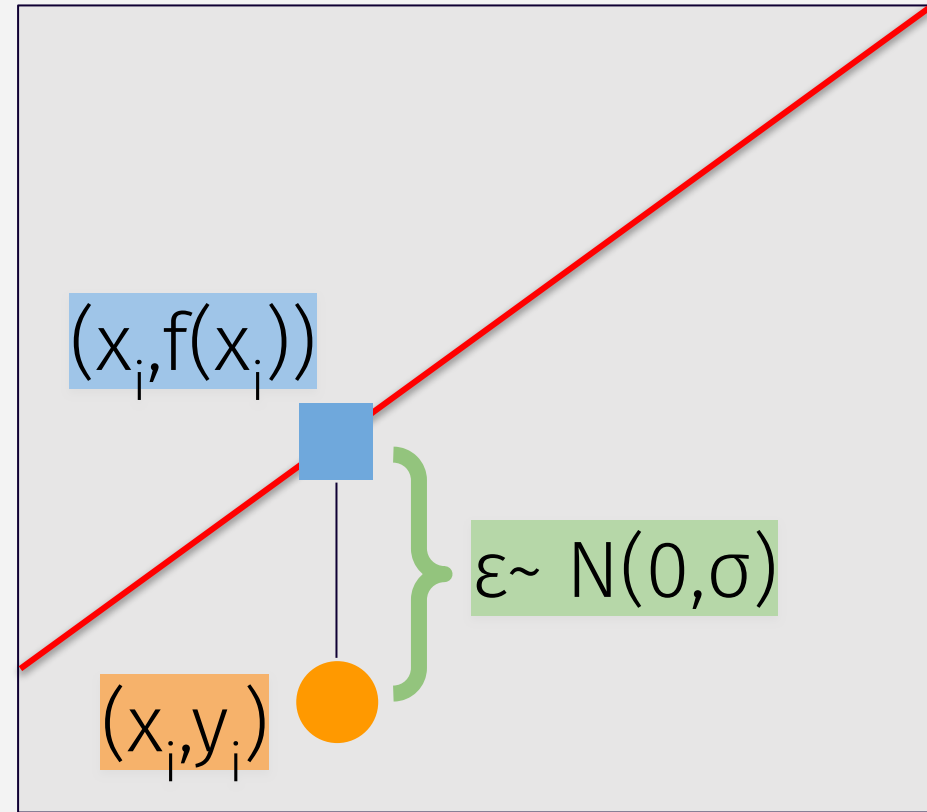
Optimización del Error **E**

- Problema:
 - Datos: ejemplos $(\mathbf{x}_i, \mathbf{y}_i)$
 - Parámetros: **m** y **b**
 - Función de error: **E**
 - Encontrar **m** y **b** que minimicen $\mathbf{E}(\mathbf{m}, \mathbf{b}, \mathbf{x}, \mathbf{y})$
 - **E** es derivable
 - Respecto de **m** y **b**



Regresión Lineal con MLE

- MLE: Maximum Likelihood Estimation
 - (Método de Máxima Verosimilitud)
 - Método estadístico
- Asumo $y = f(x) + \varepsilon = m x + b + \varepsilon$
 - $\varepsilon \sim N(0, \sigma)$
 - m, b y σ son **parámetros**
 - Busco estimadores m', b', σ'
 - $\varepsilon = f(x) - y$
 - $(f(x) - y) \sim N(0, \sigma)$
 - Función de verosimilitud L
 - $L(m, b, \sigma) = \prod_i^n \text{Gaussiana}[\mu=0, \sigma,](f(x_i) - y_i)$
 - MLE \rightarrow fórmula para m', b' y σ'

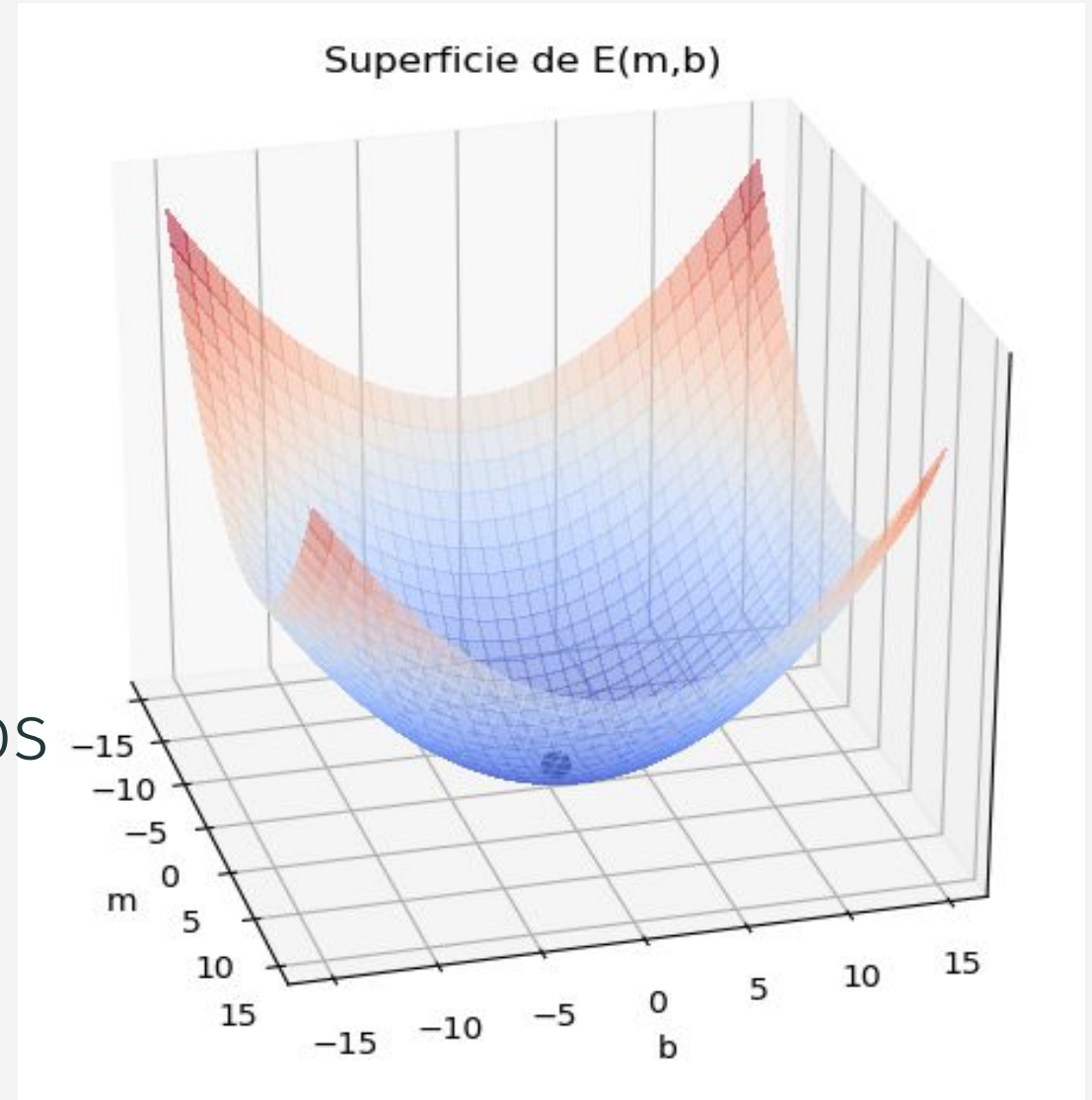


Métodos clásicos de Optimización para RL

Métodos clásicos (analíticos)

- Cálculo: $\frac{\partial E}{\partial b} = 0$ y $\frac{\partial E}{\partial m} = 0$, despejo m y b .
- Álgebra lineal: $Y = mX + b = \begin{pmatrix} 1 & x \end{pmatrix} \begin{pmatrix} b \\ m \end{pmatrix}$, proyecto.
- Probabilidades: $y = mx + b + e$ con $e \sim \mathcal{N}(0, \sigma)$, estimo m y b con MLE

- Ventajas
 - Solución analítica, simple
- Desventajas
 - Poco eficiente con muchos datos
 - $n \geq 10^6$
 - Problemas numéricos
- **Alternativa**
 - Descenso de gradiente

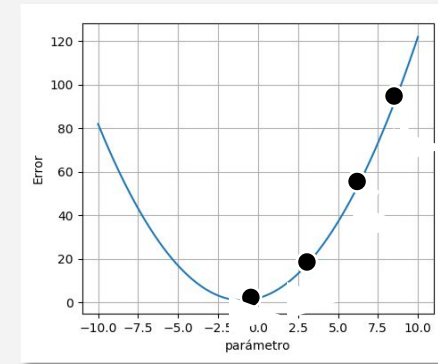
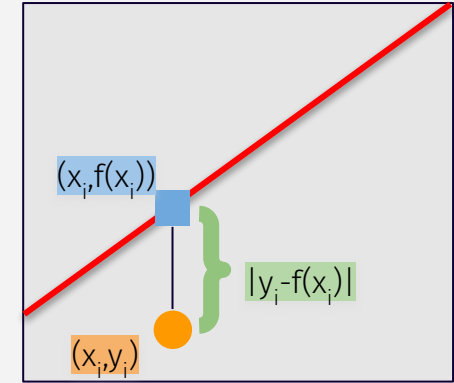
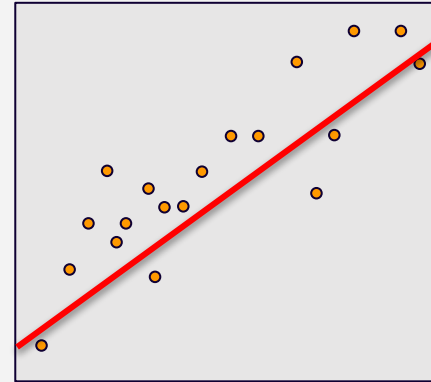


Descenso de gradiente para Regresión Lineal

- Modelo
 - $f(x) = m \times x + b$
 - $E(m,b) = (1/n) \sum_i^n E_i(m,b)$
 - $E_i(m,b) = (y_i - m x_i + b)^2$
- Ecuaciones de Descenso de Gradiente
 - $b = b - \alpha \delta E(m,b) / \delta b$
 - $m = m - \alpha \delta E(m,b) / \delta m$

■ Derivadas parciales?

- $\delta E(m,b) / \delta b = 1/n \sum_i^n 2 (y_i - f(x_i))$
- $\delta E(m,b) / \delta m = 1/n \sum_i^n 2 (y_i - f(x_i)) x_i$
 - ¿Cómo las obtengo?



Repaso de derivadas

$$1. \delta \mathbf{f(x)+g(f)} / \delta x = \delta \mathbf{f(x)} / \delta x + \delta \mathbf{g(x)} / \delta x$$

$$2. \delta \mathbf{c} / \delta x = 0$$

$$a. \delta \mathbf{f(x)-g(f)} / \delta x = \delta \mathbf{f(x)} / \delta x - \delta \mathbf{g(x)} / \delta x$$

$$b. \delta \mathbf{f(x)+c} / \delta x = \delta f(x) / \delta x$$

$$c. \delta [\Sigma_i^n \mathbf{f(x_i)}] / \delta x = \Sigma_i^n [\delta \mathbf{f(x_i)} / \delta x]$$

$$3. \delta \mathbf{f(g(x))} / \delta x = \delta \mathbf{f(g(x))} / \delta \mathbf{g(x)} \delta \mathbf{g(x)} / \delta x$$

$$\begin{aligned} a. \delta \mathbf{(3x-4)^2} / \delta x &= \delta \mathbf{(3x-4)^2} / \delta \mathbf{(3x-4)} \delta \mathbf{(3x-4)} / \delta x \\ &= 2(3x-4) 3 = 6 (3x-4) \end{aligned}$$

Derivada del error respecto de b $\delta E(\mathbf{m}, \mathbf{b}) / \delta \mathbf{b}$

$$\begin{aligned}\delta E(\mathbf{m}, \mathbf{b}) / \delta \mathbf{b} &= \delta(1/n \sum_i^n E_i(\mathbf{m}, \mathbf{b})) / \delta \mathbf{b} \\&= 1/n \sum_i^n \delta E_i(\mathbf{m}, \mathbf{b}) / \delta \mathbf{b} \\&= 1/n \sum_i^n \delta((\mathbf{y}_i - \mathbf{f}(\mathbf{x}_i))^2) / \delta \mathbf{b} \\&= 1/n \sum_i^n 2 (\mathbf{y}_i - \mathbf{f}(\mathbf{x}_i)) \delta(\mathbf{y}_i - \mathbf{f}(\mathbf{x}_i)) / \delta \mathbf{b} \\&= 1/n \sum_i^n 2 (\mathbf{y}_i - \mathbf{f}(\mathbf{x}_i)) \delta(\mathbf{y}_i - \mathbf{m} \mathbf{x}_i + \mathbf{b}) / \delta \mathbf{b} \\&= 1/n \sum_i^n 2 (\mathbf{y}_i - \mathbf{f}(\mathbf{x}_i)) \delta \mathbf{b} / \delta \mathbf{b} \\&= 1/n \sum_i^n 2 (\mathbf{y}_i - \mathbf{f}(\mathbf{x}_i))\end{aligned}$$

Derivada del error respecto de m $\delta E(m,b)/\delta m$

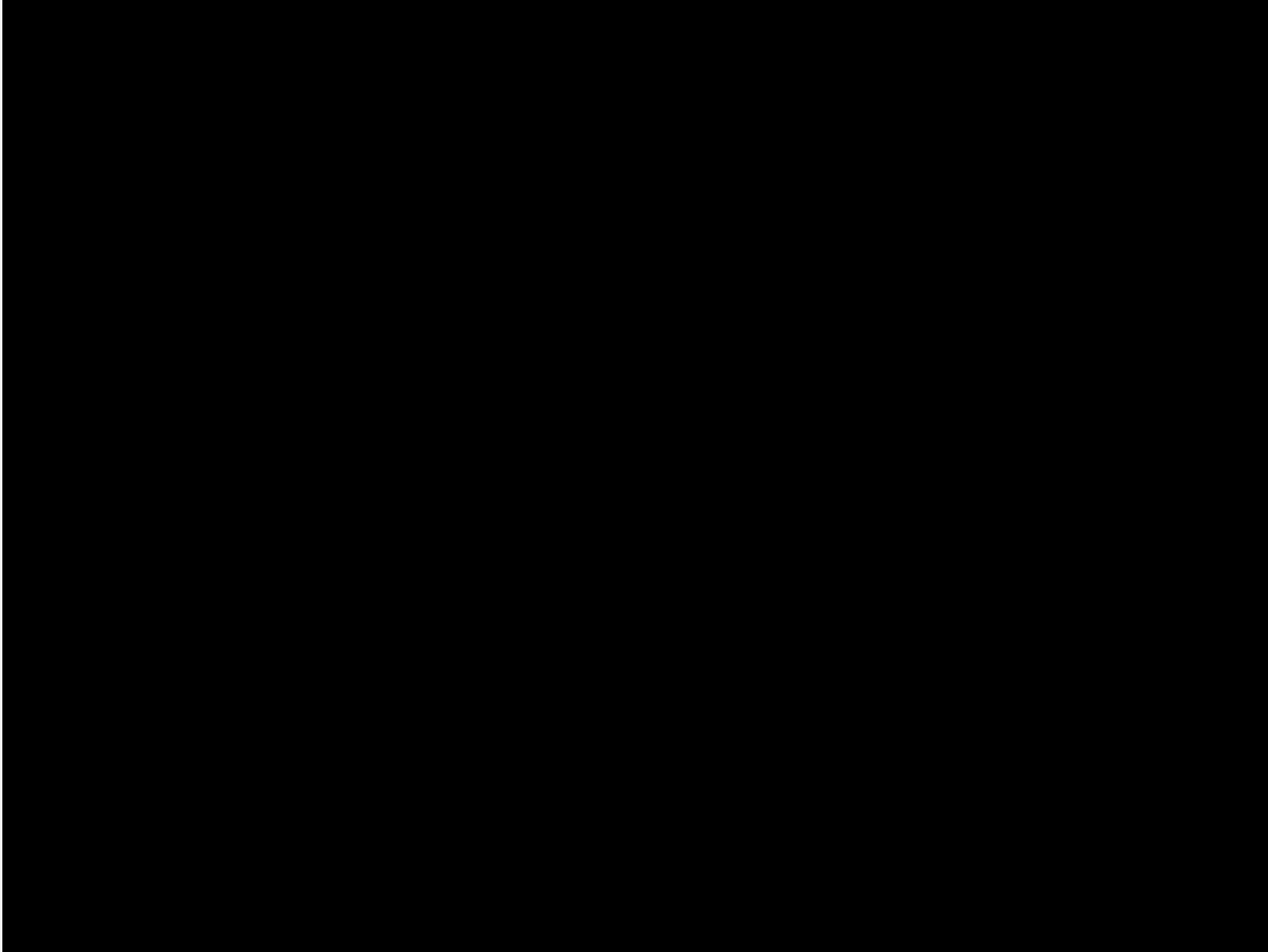
$$\begin{aligned}\delta E(m,b)/\delta m &= \delta(1/n \sum_i^n E_i(m,b))/\delta m \\ &= 1/n \sum_i^n \delta E_i(m,b)/\delta m \\ &= 1/n \sum_i^n \delta((y_i - f(x_i))^2)/\delta m \\ &= 1/n \sum_i^n 2 (y_i - f(x_i)) \delta(y_i - f(x_i))/\delta m \\ &= 1/n \sum_i^n 2 (y_i - f(x_i)) \delta(y_i - m x_i + b)/\delta m \\ &= 1/n \sum_i^n 2 (y_i - f(x_i)) \delta(-m x_i)/\delta m \\ &= 1/n \sum_i^n 2 (y_i - f(x_i)) x_i\end{aligned}$$

Igual pero con δm

Pseudocódigo

- **descenso_gradiente_regresion_lineal**(x, y, α)
 - Inicializar m y b de forma aleatoria
 - $E_{anterior} = (1/n) \sum_i^n (y_i - m x_i + b)^2$
 - Repetir
 - Calcular derivadas
 - $\delta E(m, b) / \delta b = 1/n \sum_i^n 2 (y_i - f(x_i))$
 - $\delta E(m, b) / \delta m = 1/n \sum_i^n 2 (y_i - f(x_i)) x_i$
 - $b = b - \alpha \delta E(m, b) / \delta b$
 - $m = m - \alpha \delta E(m, b) / \delta m$
 - $E = (1/n) \sum_i^n (y_i - m x_i + b)^2$
 - Hasta que $(E - E_{anterior}) = 0$

Ejemplo con simulador

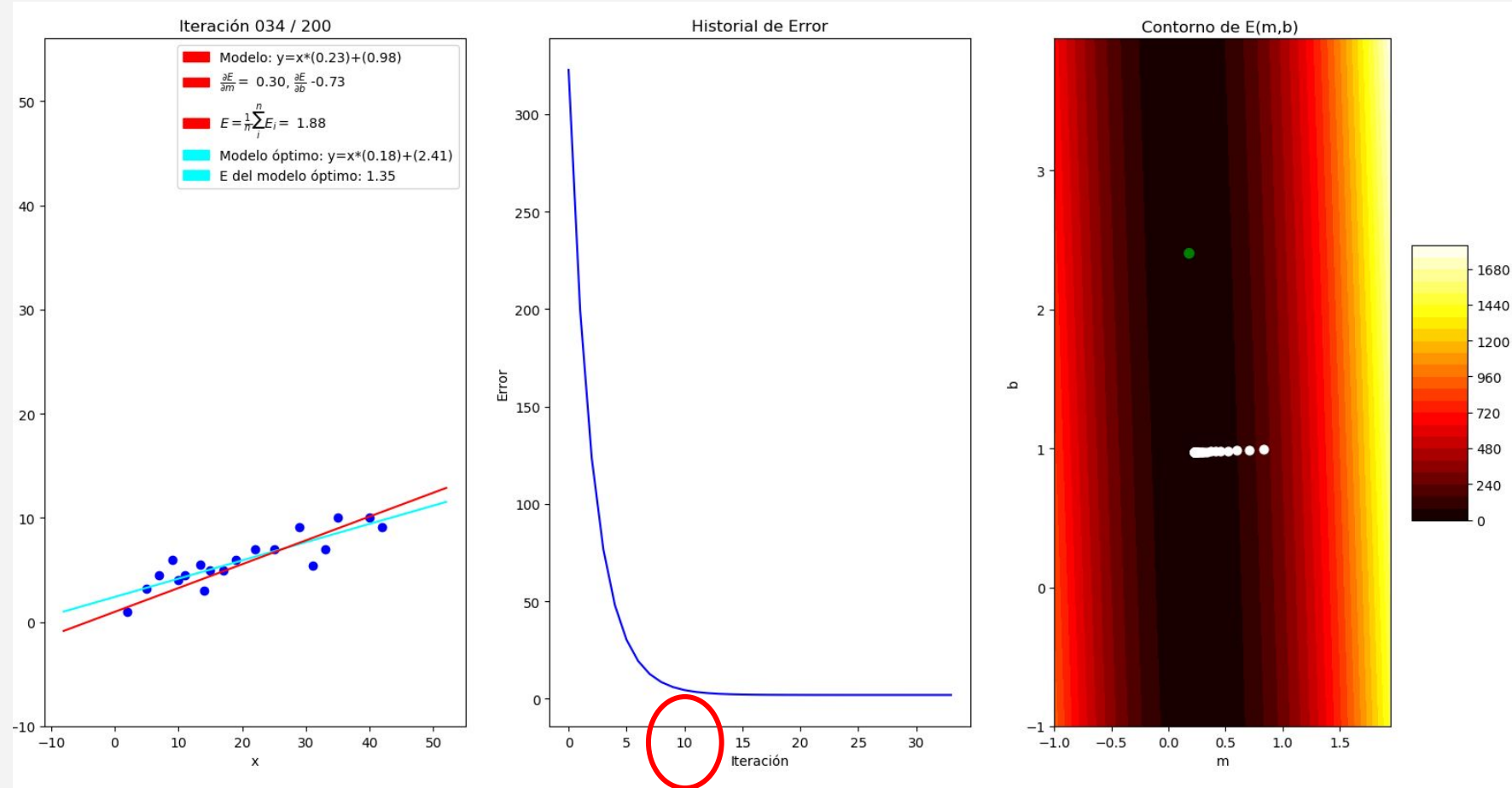


Cuestiones prácticas

- m_0 y $b_0 \rightarrow$ Valores iniciales de m y b
 - Afectan a la optimización.
 - Aprovechar la experticia del dominio.
 - Ejemplo de las notas,
 - ¿valores sensatos?
 - $y_{\min} = 2 \rightarrow$ Nadie tiene una nota menor a 2
 - $b_0 = y_{\min} = 2$
 - $x_{\max} = 40 \rightarrow$ Nadie estudia más de 40 horas
 - $y_{\max} = 10 \rightarrow$ Nota máxima 10
 - $m_0 = (y_{\max} - y_{\min}) / x_{\max} = (10 - 2) / 40 = 8 / 40 = 0.2$
 - Normalización de variables
 - Escala de notas de 0 al 10 vs 0 al 100
 - ¿Afecta al descenso?

Descenso de gradiente con **variables sin normalizar**

- Variables sin normalizar
 - Diferentes escalas
 - **Idem parámetros**
 - Dificulta encontrar el mínimo
 - Tarda más tiempo.



Normalización de variables

Original

Horas	Nota
2	1
5	3.2
7	4.5
9	6
10	4
11	4.5
13.4	5.5
14	3
15	5

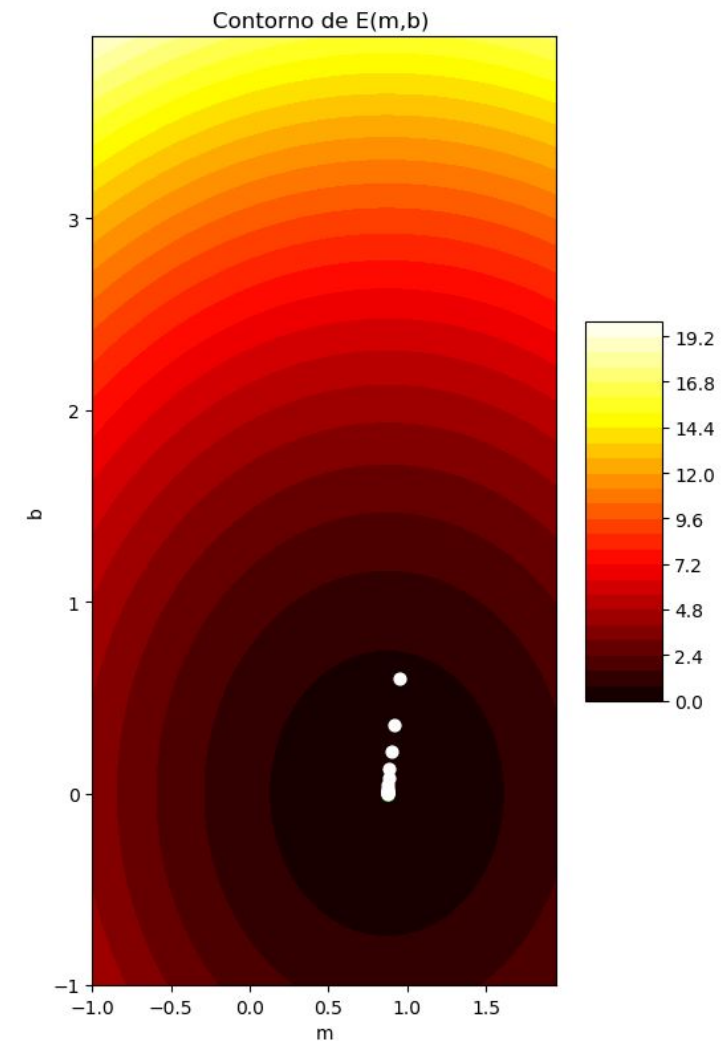
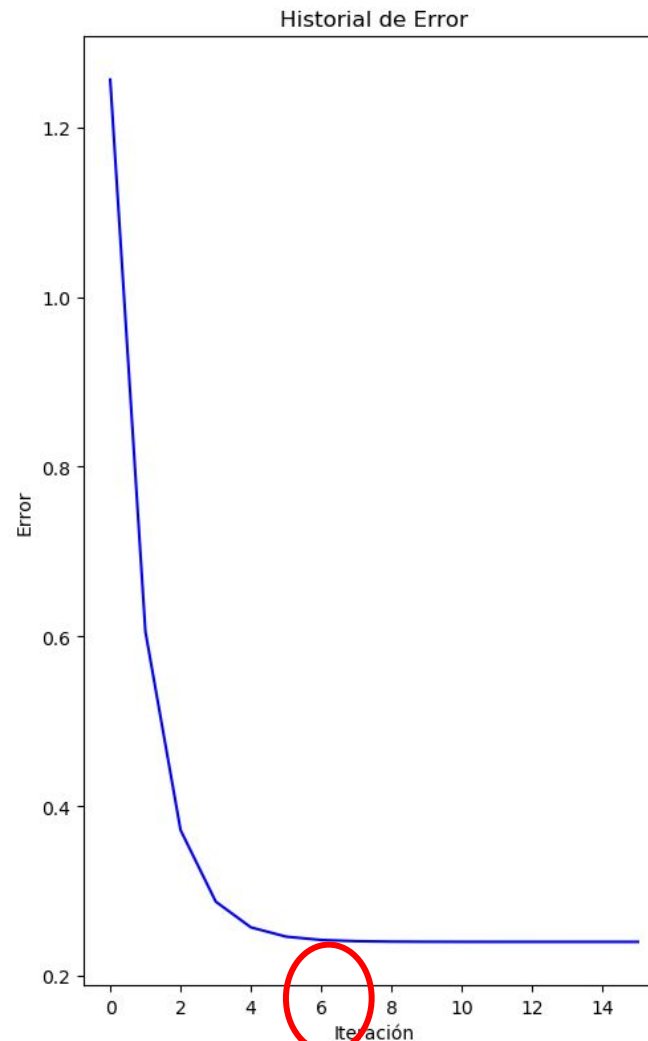
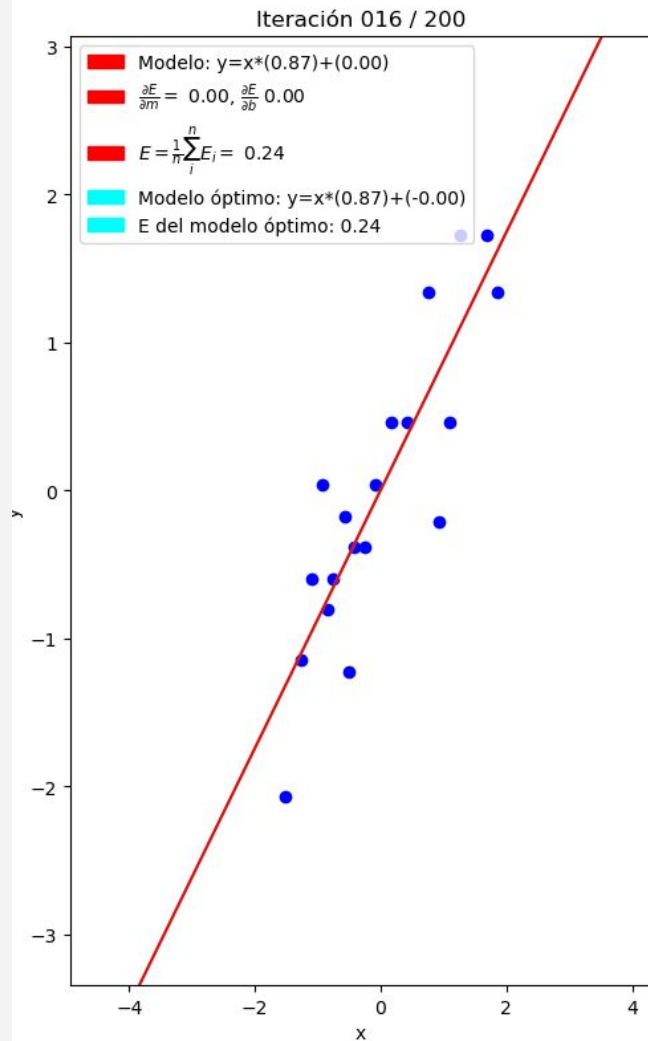
Normalización μ/σ

Horas	Nota
-1.75	-2.03
-1.06	-0.58
-0.60	0.28
-0.14	1.27
0.09	-0.05
0.32	0.28
0.87	0.94
1.01	-0.71
1.24	0.61

Normalización min/max

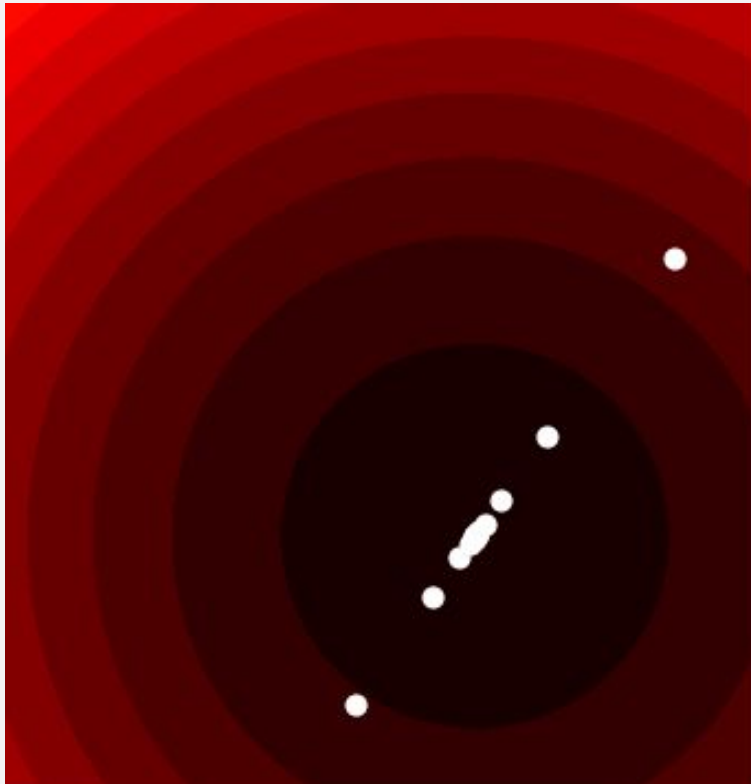
Horas	Nota
0	0
0.23	0.44
0.38	0.7
0.54	1
0.62	0.6
0.69	0.7
0.88	0.9
0.92	0.4
1.00	0.8

Descenso de gradiente con **variables** normalizadas

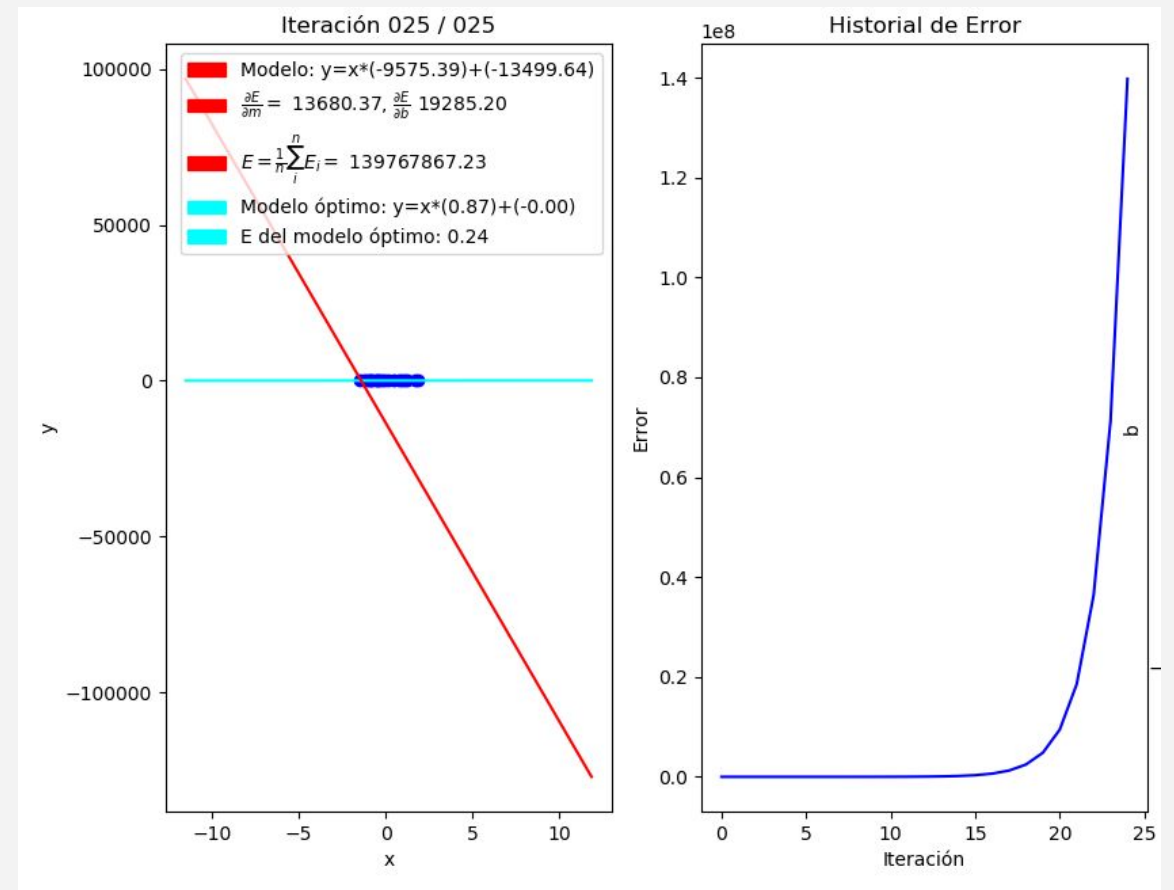


Divergencia con α muy grande

Saltos erráticos



El algoritmo diverge



Resumen

- Ecuaciones de Descenso de Gradiente
 - Especializadas para Regresión Lineal
 - $b = b - \alpha \delta E(m,b)/\delta b$
 - $m = m - \alpha \delta E(m,b)/\delta m$
 - Derivadas parciales
 - $\delta E(m,b)/\delta b = 1/n \sum_i^n 2 (y_i - f(x_i))$
 - $\delta E(m,b)/\delta m = 1/n \sum_i^n 2 (y_i - f(x_i)) x$
- Cuestiones prácticas
 - Valores iniciales de **m** y **b**
 - Valor de **α**
 - Normalización de las variables
 - Convergencia y velocidad

Ejercicio: Archivo **Regresión Lineal -**

Aprendizaje.ipynb

- **Probar e interpretar**

- Ejecutar el código y ver como se entrena el modelo
- Cambiar los valores iniciales de **m** y **b**
 - ¿Cómo afecta esto al entrenamiento?
- Cambiar el valor de **α**
 - ¿Cómo afecta esto al entrenamiento?
 - ¿Qué sucede si utilizo un α muy chico?
 - ¿y uno muy grande?
- ¿Son comparables los valores $\delta E / \delta m$ y $\delta E / \delta b$?
 - ¿De qué depende su magnitud?
- Cambiar el conjunto de datos utilizado por **anscombe1.csv**, **anscombe2.csv**, **anscombe3.csv** o **anscombe4.csv** y repetir.