



Escola de Enxeñaría de  
Minas e Enerxía  
Universidade de Vigo



# INTELIGENCIA ARTIFICIAL: EFICIENCIA ENERGÉTICA EN LOS EDIFICIOS

Moisés Cordeiro Costas

[moises.cordeiro.costas@uvigo.gal](mailto:moises.cordeiro.costas@uvigo.gal)

IES Estelas de Cantabria, 13-14 marzo 2024

# ¿ES NECESARIO ESTUDIAR LA EFICIENCIA ENERGÉTICA?



# ¿DÓNDE TIENE CABIDA LA INTELIGENCIA ARTIFICIAL?



¿CUÁNTA  
INFORMACIÓN  
CREAMOS CADA  
MINUTO?

¿CUÁNTA  
INFORMACIÓN  
CONSUMIMOS?

¿CUÁNTA  
INFORMACIÓN SE  
GENERÓ EN 2021?

## 3 Important Statistics About How Much Data Is Created Every Day



Source: Domo

### 1 How much data is generated every minute?

41,666,667

messages shared  
by WhatsApp users

1,388,889

video / voice calls made  
by people worldwide

404,444

hours of video streamed  
by Netflix users

347,222

stories posted by Instagram users

150,000

messages shared by Facebook users

147,000

photos shared by Facebook users

### 2 Estimated Data Consumption from 2021 to 2024

Source: IDC / Statista



### 3 Data Growth in 2021

Sources: TechJury, Internet Live Stats, Cisco, PurpleSec

2 TRILLION

searches on Google by the end of 2021

1.134 TRILLION MB

volume of data created every day

3,026,626

emails sent every second, 67% of which are spam

278,108 PETABYTES

global IP data per month by the end of 2021

230,000

new malware versions created every day

82%

share of video in total global internet  
traffic at the end of 2021

FUENTE: <https://financesonline.com/how-much-data-is-created-every-day/>

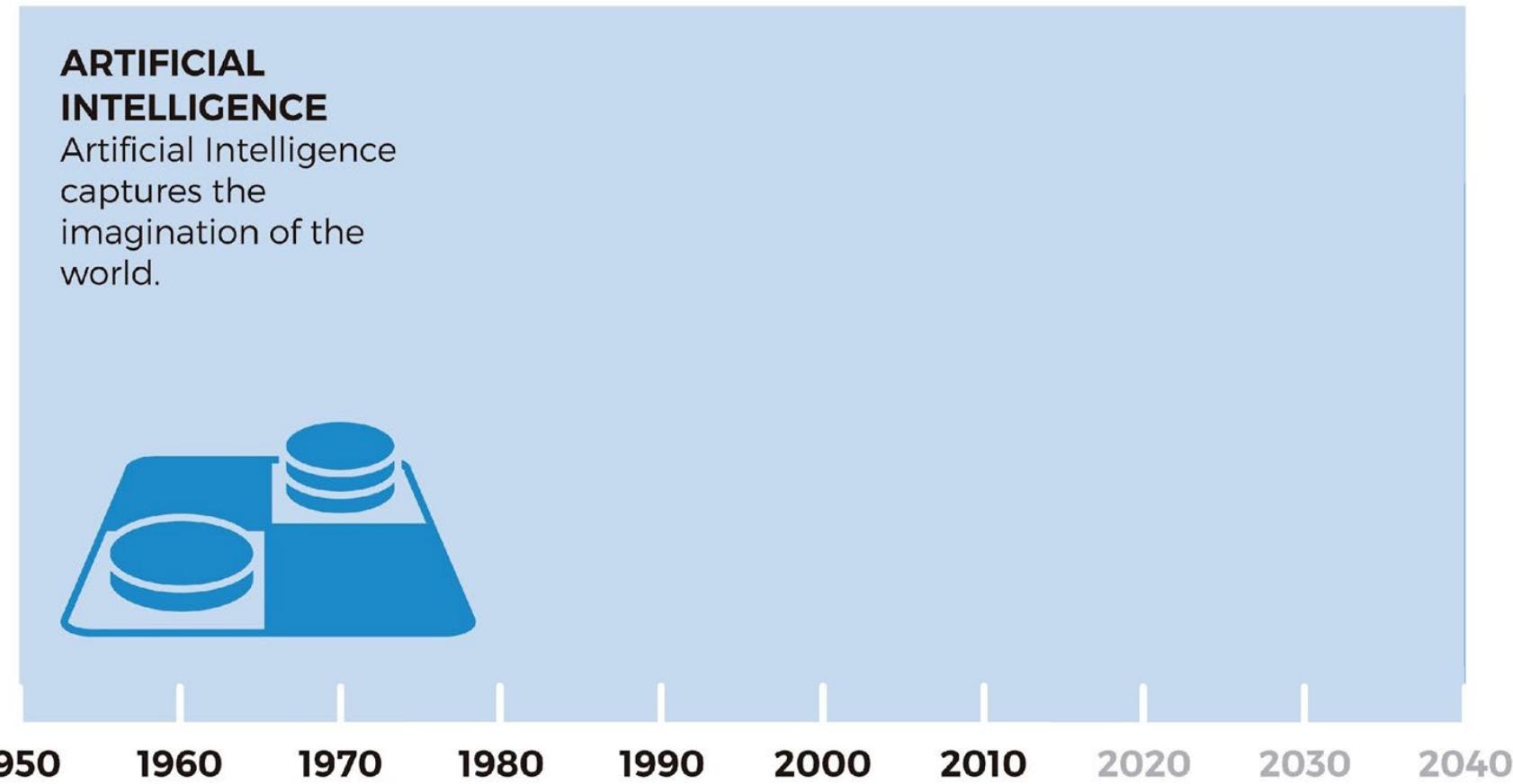


Universida de Vigo



# ¿QUÉ ES INTELIGENCIA ARTIFICIAL?

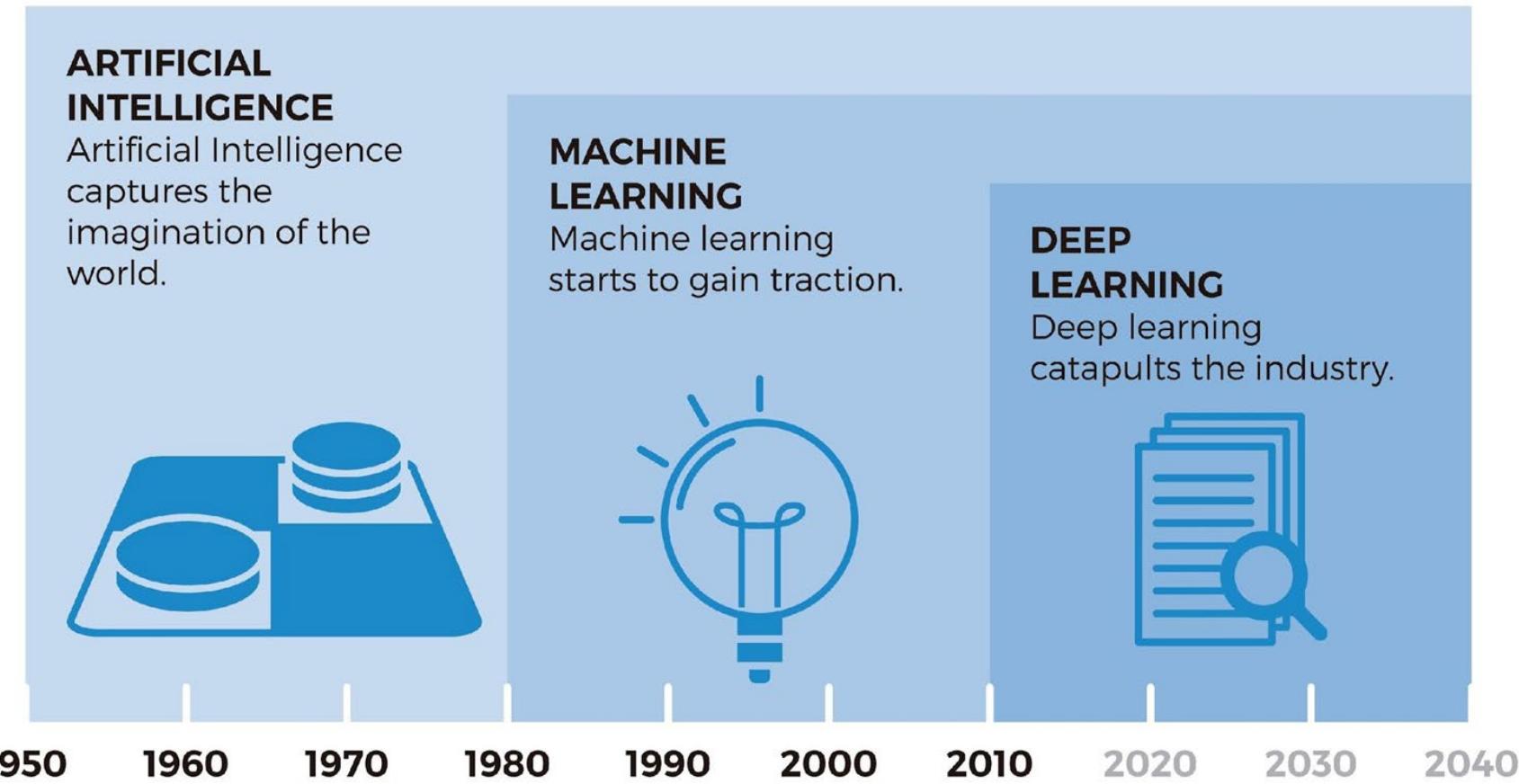
*Inteligencia Artificial* es la **ciencia** que estudia cualquier **sistema** que **percibe** su entorno y **se adapta** a él



FUENTE: <https://blog.bismart.com/es/diferencia-machine-learning-deep-learning>

# ¿CÓMO SE RECONOCEN PATRONES?

*Machine Learning* es la ciencia que consigue que los **ordenadores** actúen **sin ser programados explícitamente**



FUENTE: <https://blog.bismart.com/es/diferencia-machine-learning-deep-learning>

# ¿CUÁLES SON LOS PASOS?

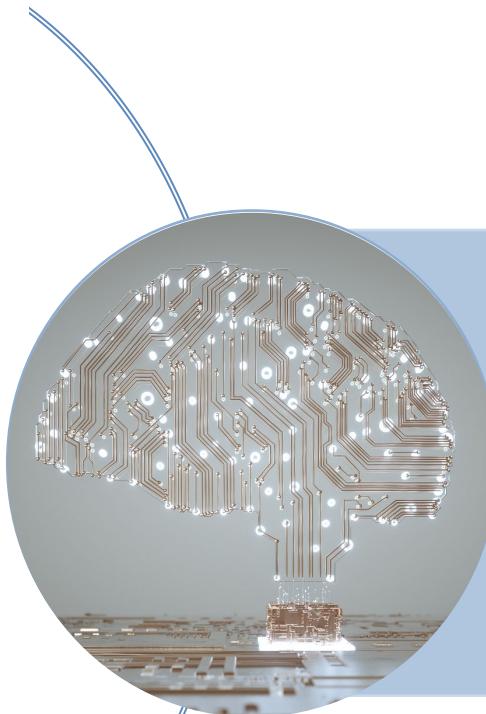


# ¿CUÁLES SON LOS PASOS?



# ¿ES NECESARIO TRATAR LOS DATOS?

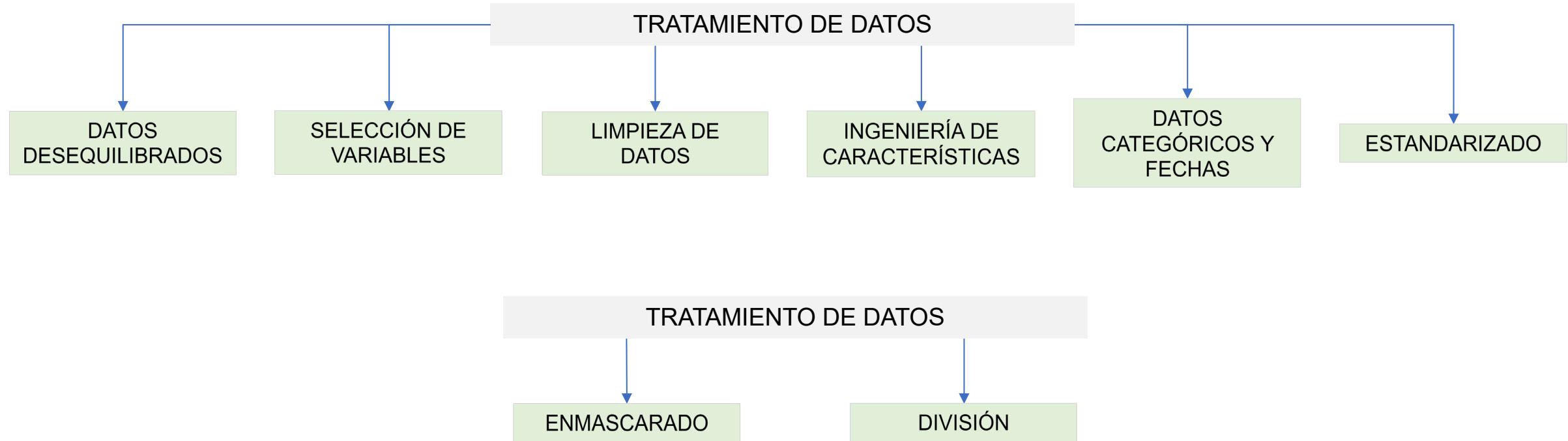
El tratamiento de datos implica la **preparación y limpieza de los datos** antes de utilizarlos en el modelo de *ML*



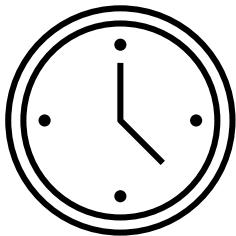
- ML solo entiende valores numéricos.
- Pueden existir valores fuera de rango.
- Pueden existir periodos sin valores.
- Necesidad de escalado de las variables.
- Feature engineering.

# ¿QUÉ TENER EN CUENTA PARA TRATAR LOS DATOS?

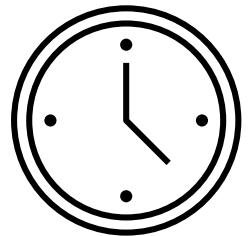
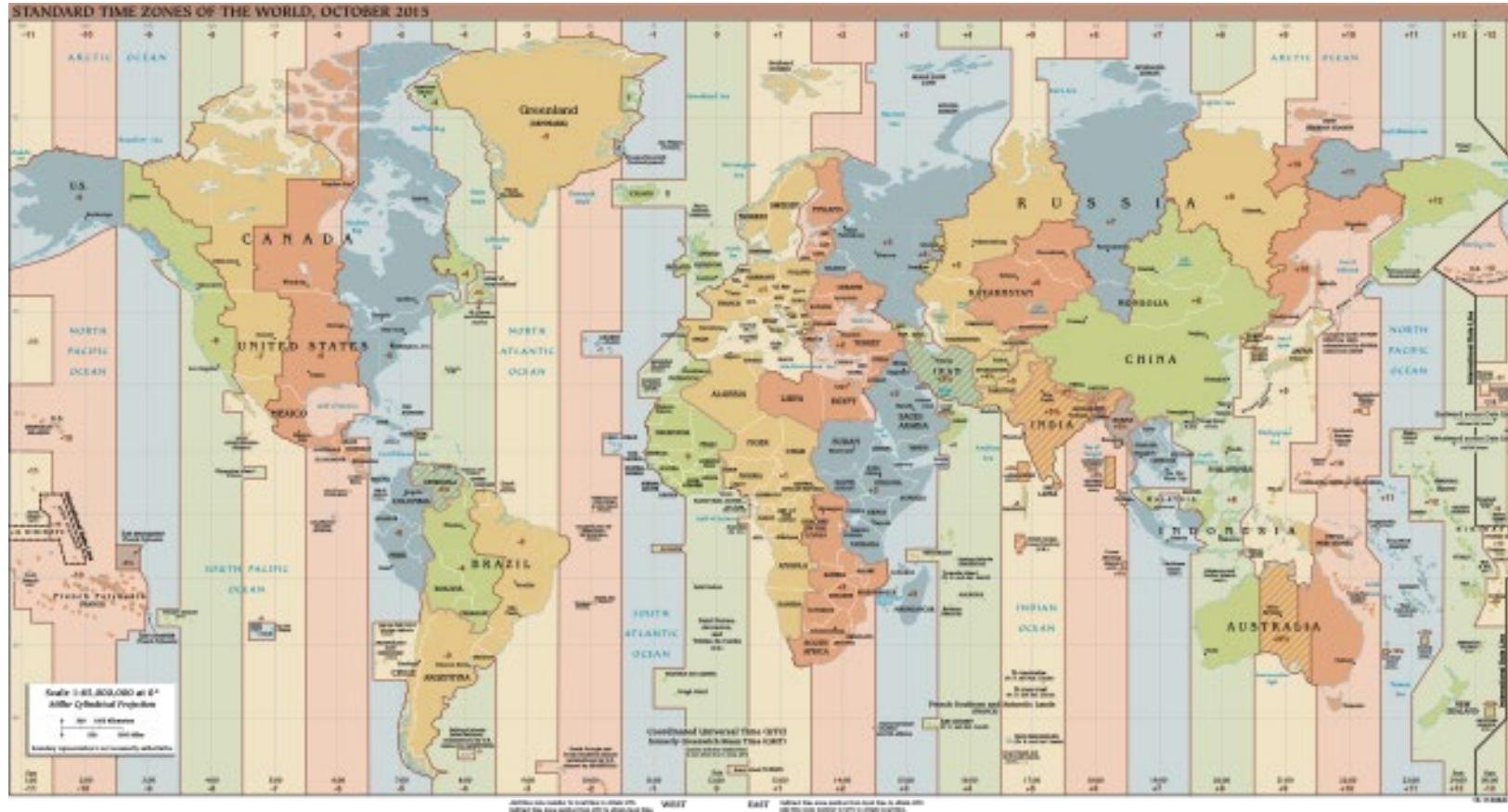
El tratamiento de datos implica la preparación y limpieza de los datos antes de utilizarlos en el modelo de ML



# DATOS DESEQUILIBRADOS



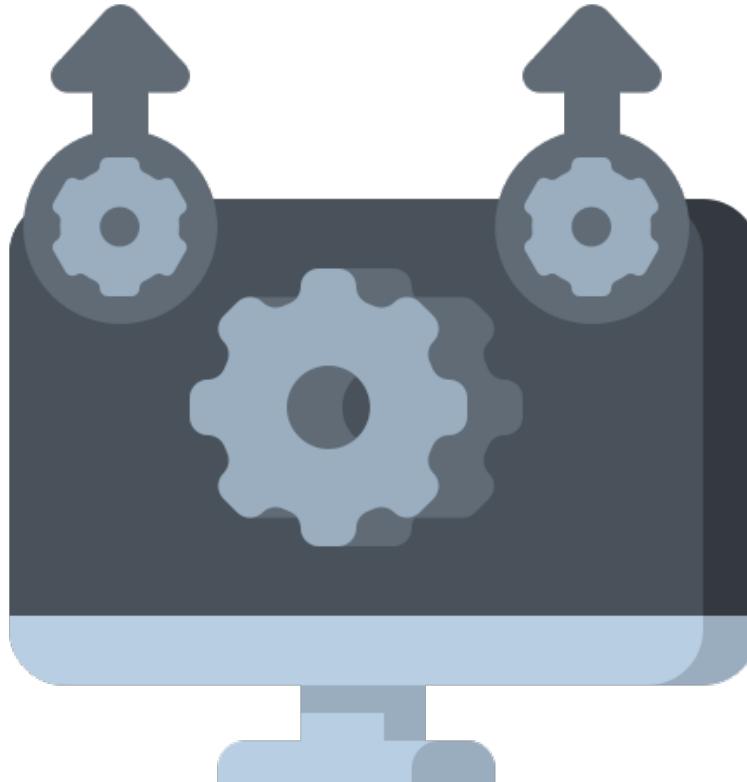
Hora local



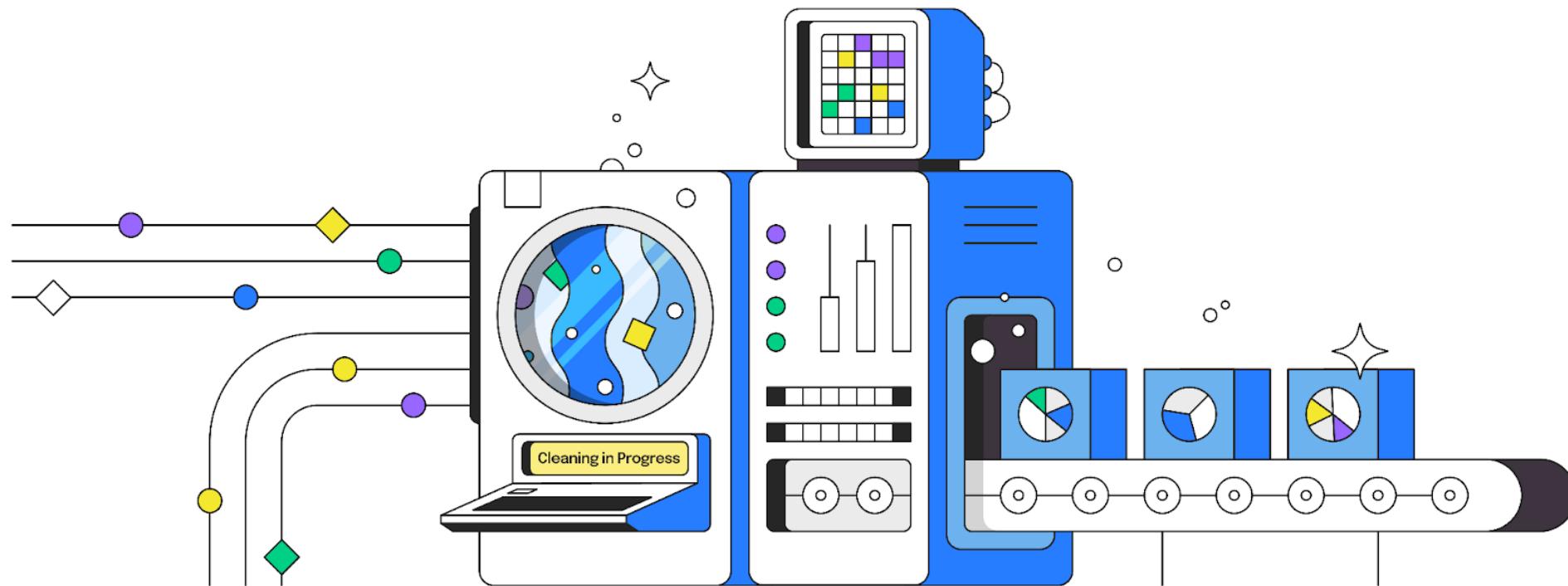
Hora UTC

FUENTE: [https://es.wikipedia.org/wiki/Tiempo\\_universal\\_coordinado](https://es.wikipedia.org/wiki/Tiempo_universal_coordinado)

# SELECCIÓN DE VARIABLES

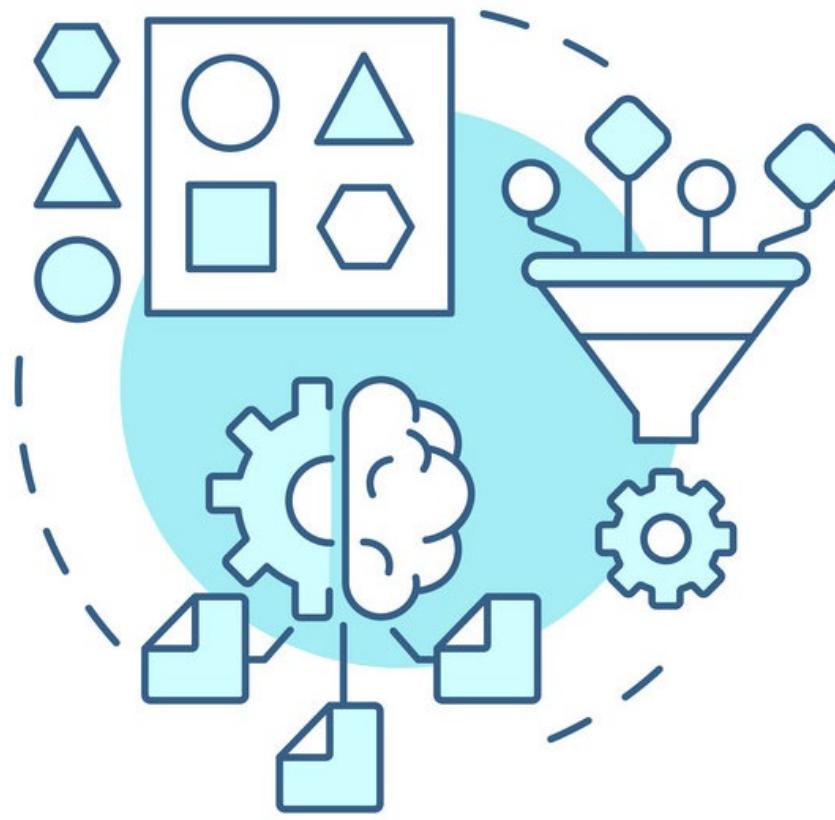


# LIMPIEZA DE DATOS

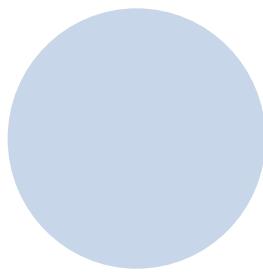
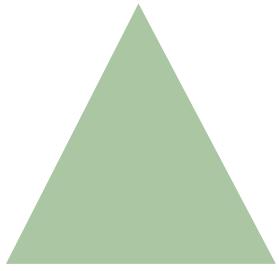


FUENTE: <https://www.obviously.ai/post/data-cleaning-in-machine-learning>

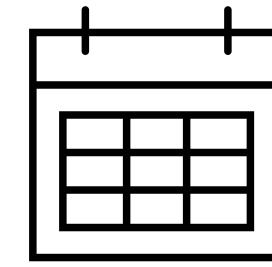
# INGENIERÍA DE CARACTERÍSTICAS



# DATOS CATEGÓRICOS Y FECHAS

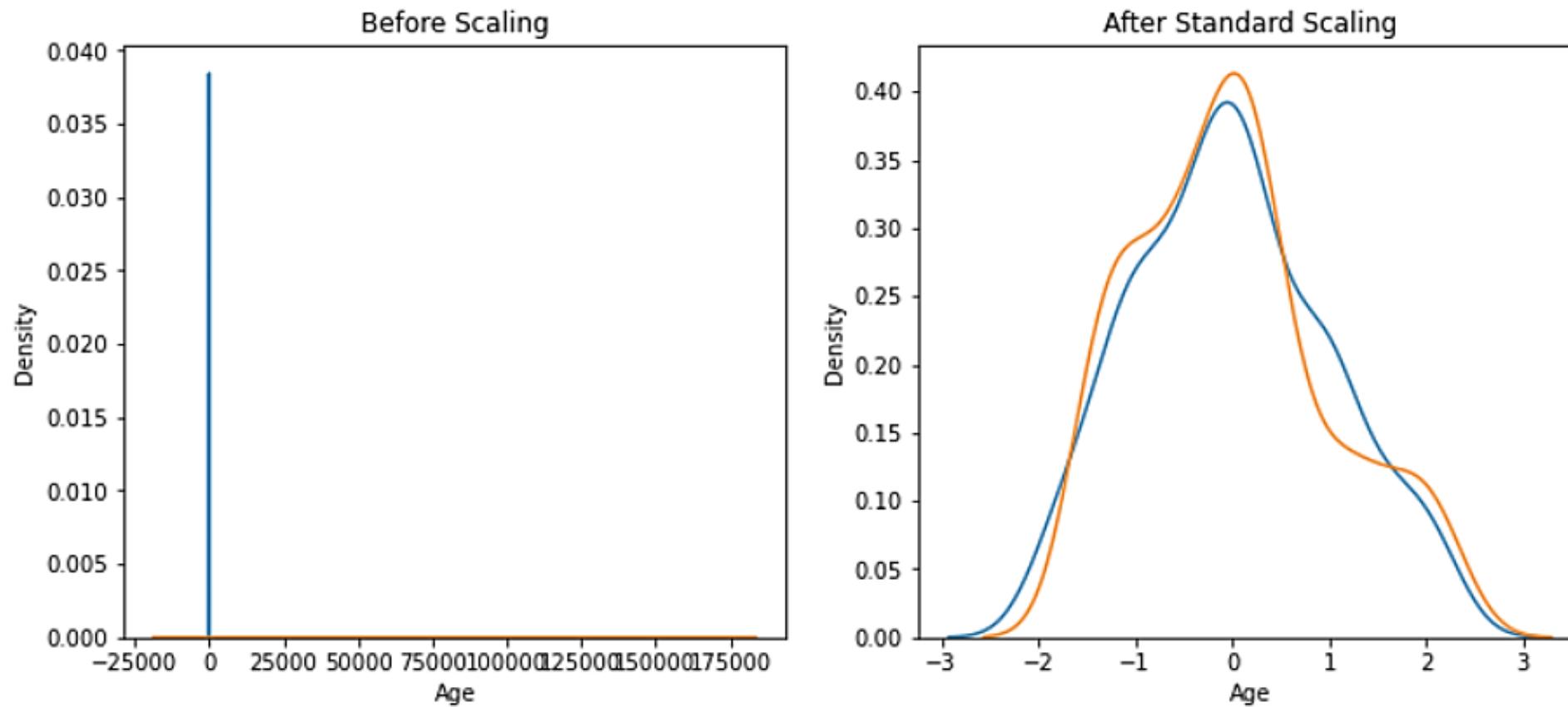


**Datos categóricos**



**Datos temporales**

# ESTANDARIZADO



FUENTE: <https://www.analyticsvidhya.com/blog/2022/10/understand-the-concept-of-standardization-in-machine-learning/>

# ENMASCARADO



# DIVISIÓN



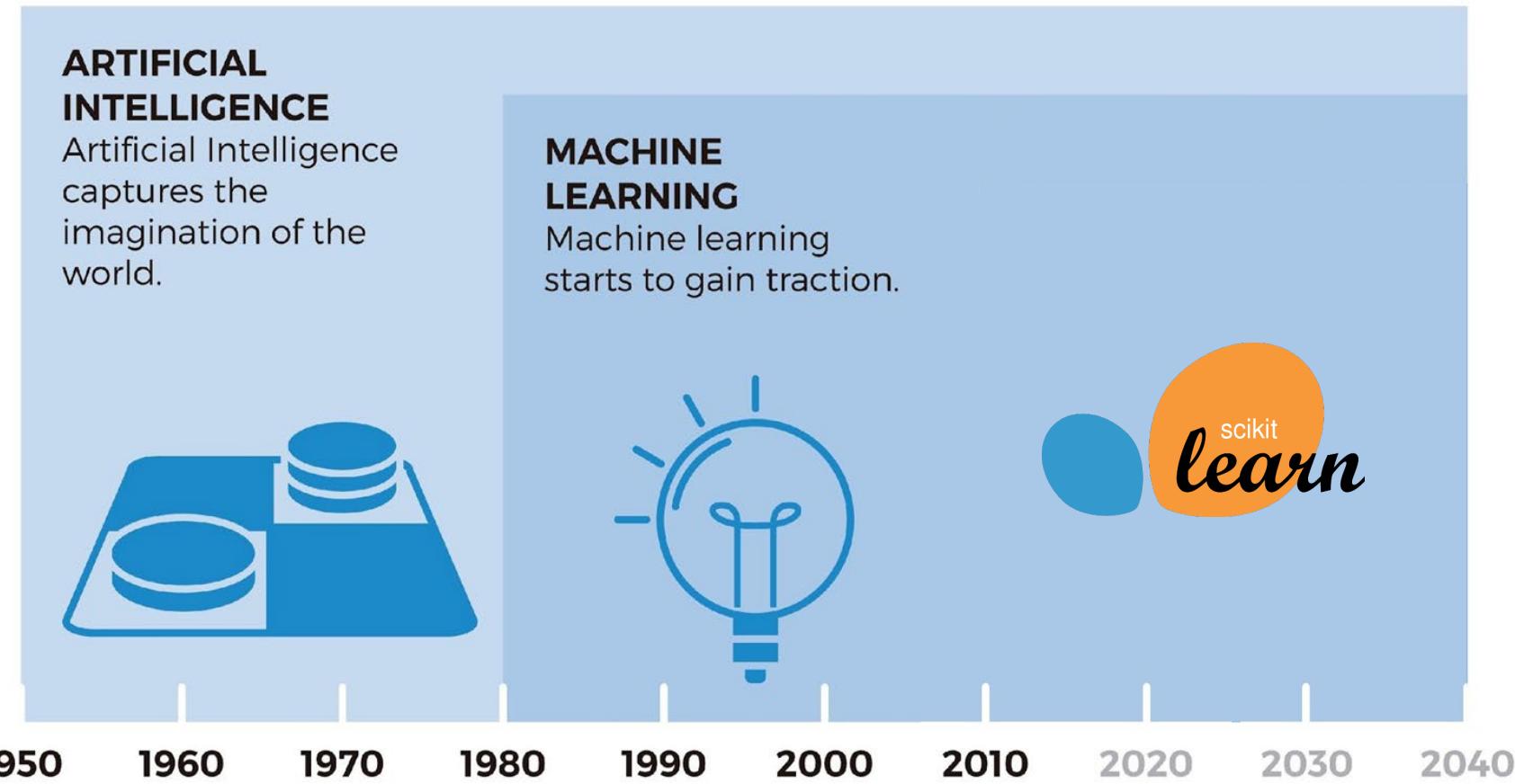
FUENTE: <https://towardsdatascience.com/train-validation-and-test-sets-72cb40cba9e7>

# ¿CUÁLES SON LOS PASOS?



# ¿CÓMO SE RECONOCEN PATRONES?

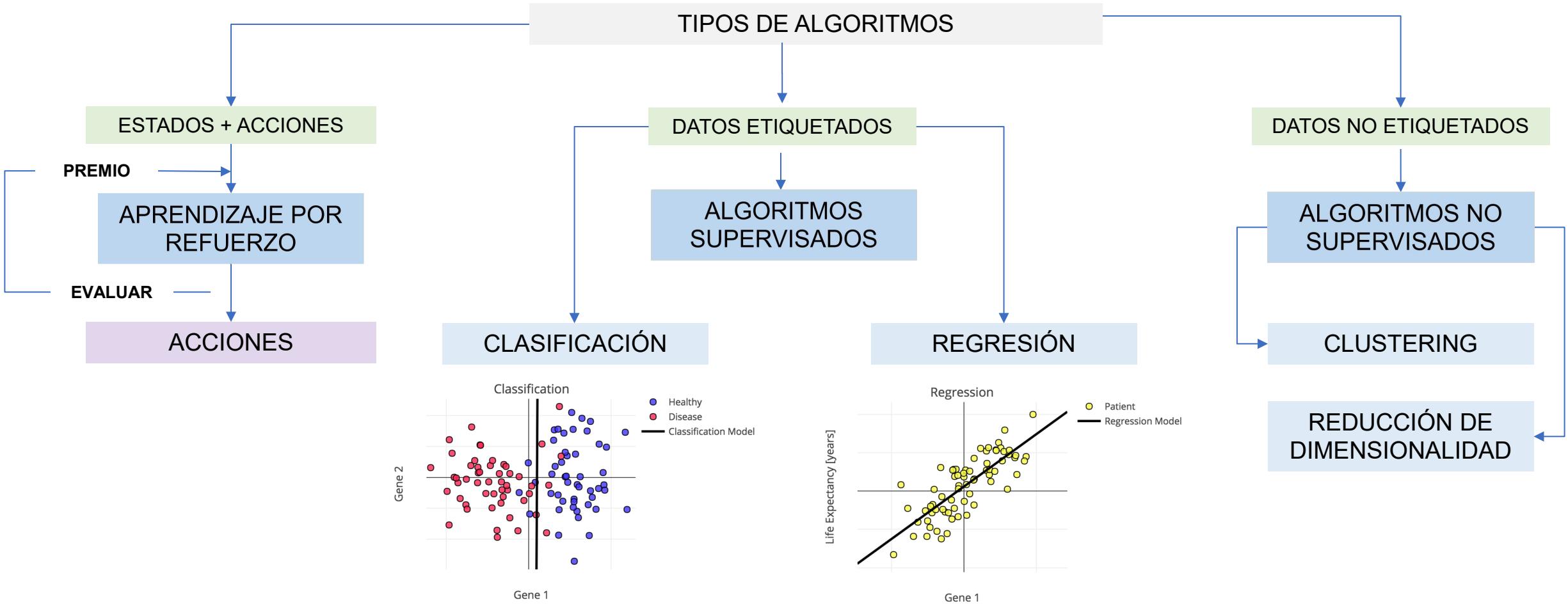
*Machine Learning* es la ciencia que consigue que los **ordenadores** actúen **sin ser programados explícitamente**



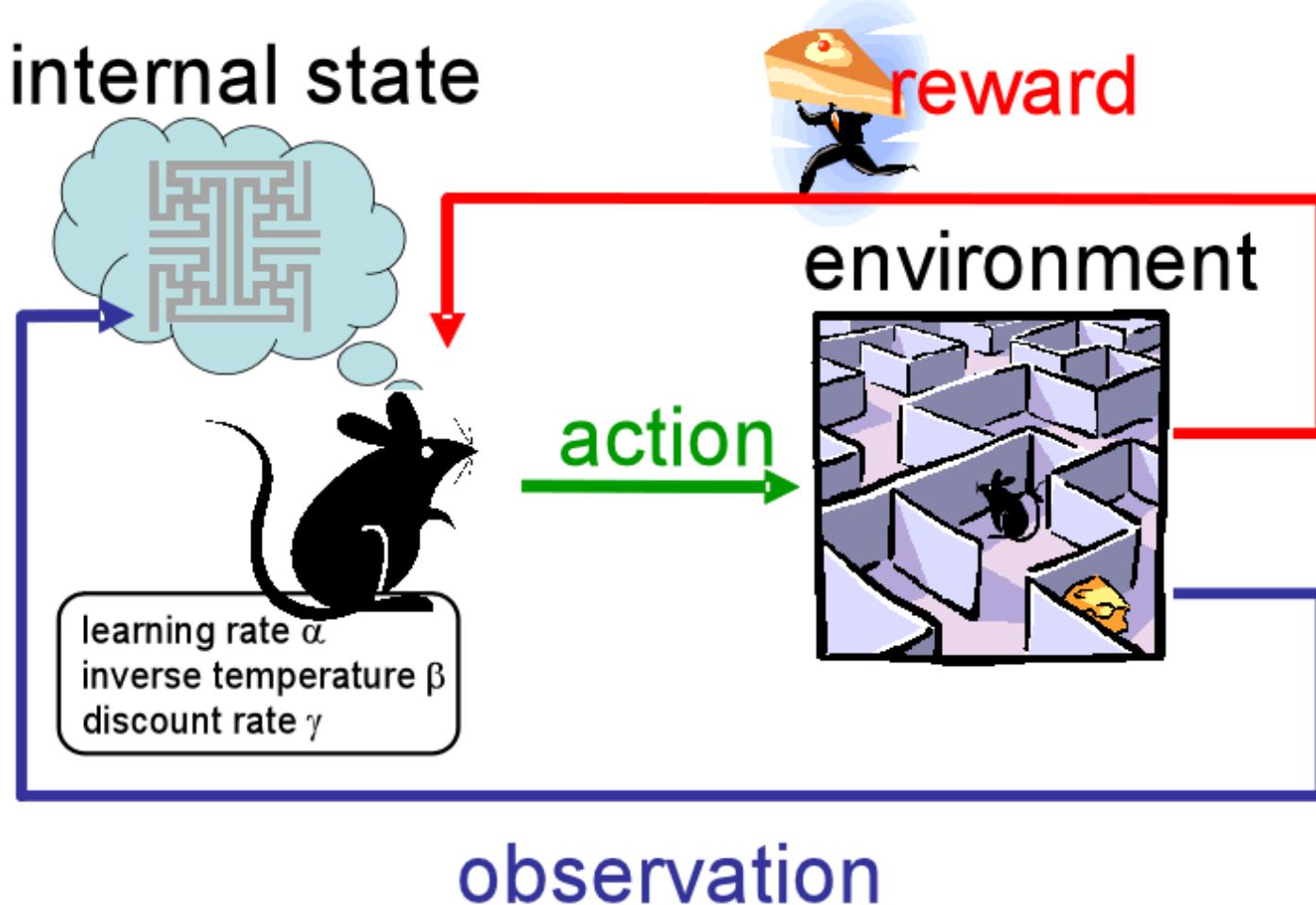
FUENTE: <https://scikit-learn.org/stable/index.html>

# ¿QUÉ ES MACHINE LEARNING?

Rama de la **Inteligencia Artificial** (AI), que emplea algoritmos matemáticos para permitir que las máquinas aprendan

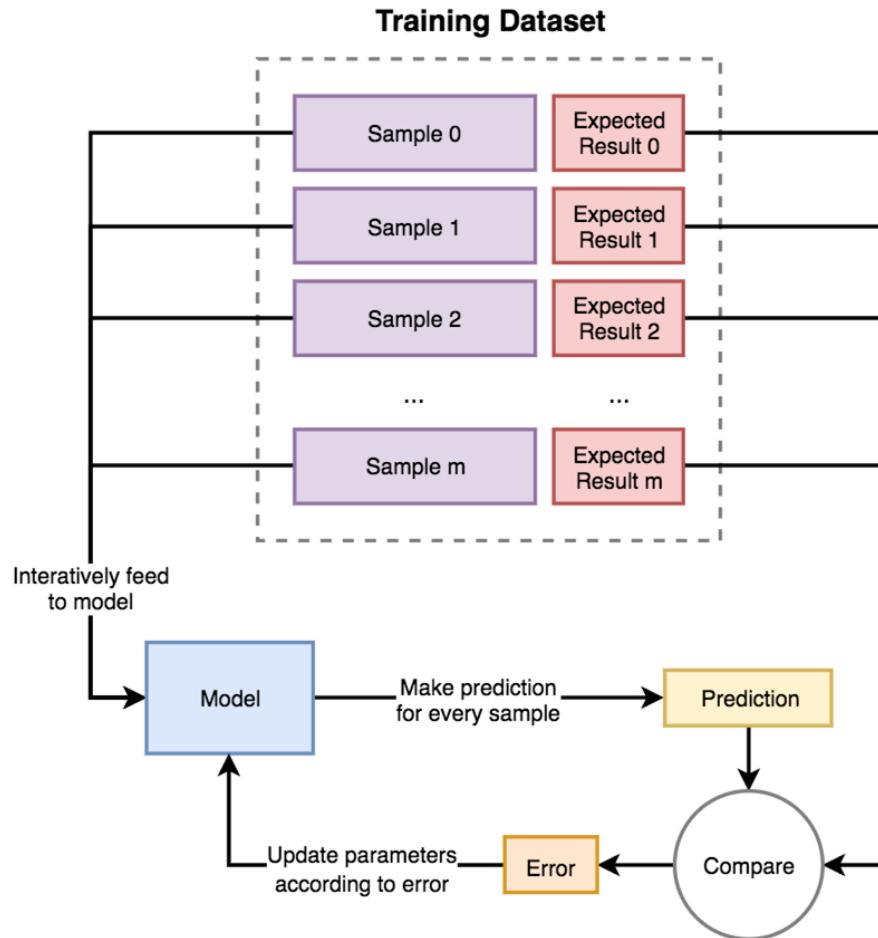


# APRENDIZAJE POR REFUERZO



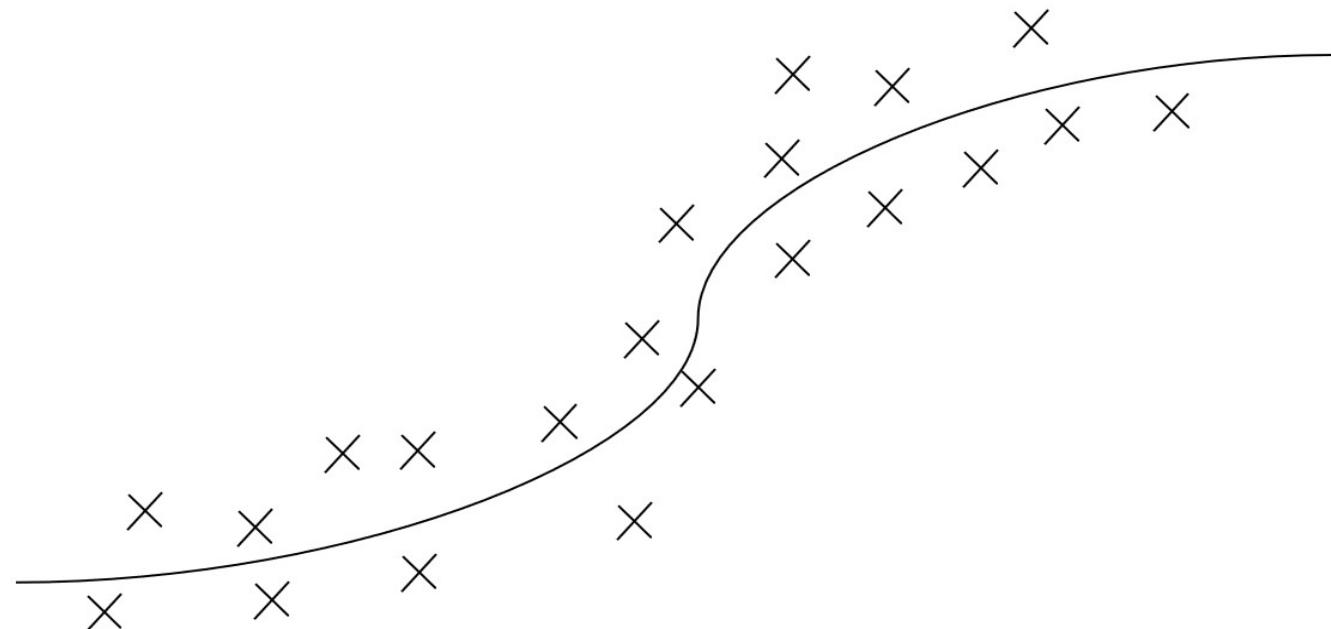
FUENTE: <https://becominghuman.ai/the-very-basics-of-reinforcement-learning-154f28a79071>

# ALGORITMO SUPERVISADO



FUENTE: <https://towardsdatascience.com/coding-deep-learning-for-beginners-types-of-machine-learning-b9e651e1ed9d>

# LINEAR REGRESSION



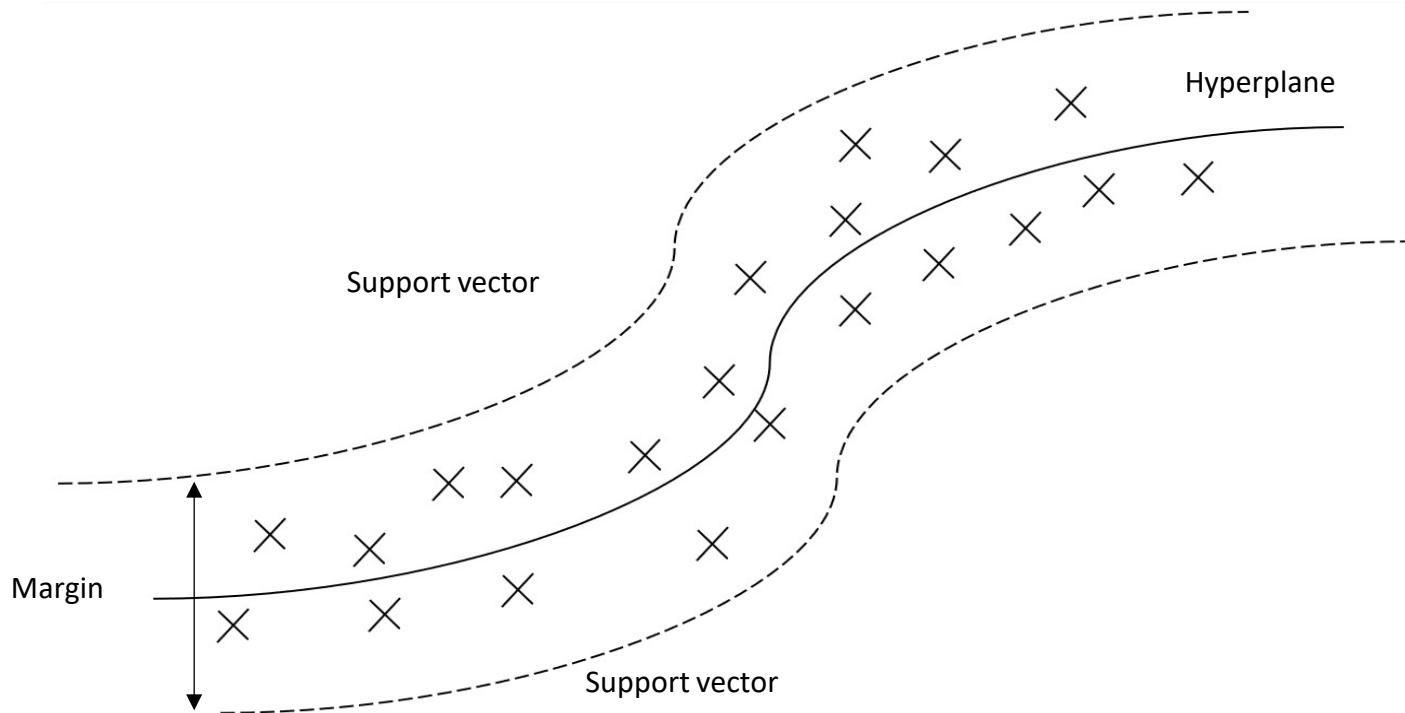
FUENTE: [https://scikit-learn.org/stable/modules/generated/sklearn.linear\\_model.LinearRegression.html](https://scikit-learn.org/stable/modules/generated/sklearn.linear_model.LinearRegression.html)



Universidade de Vigo

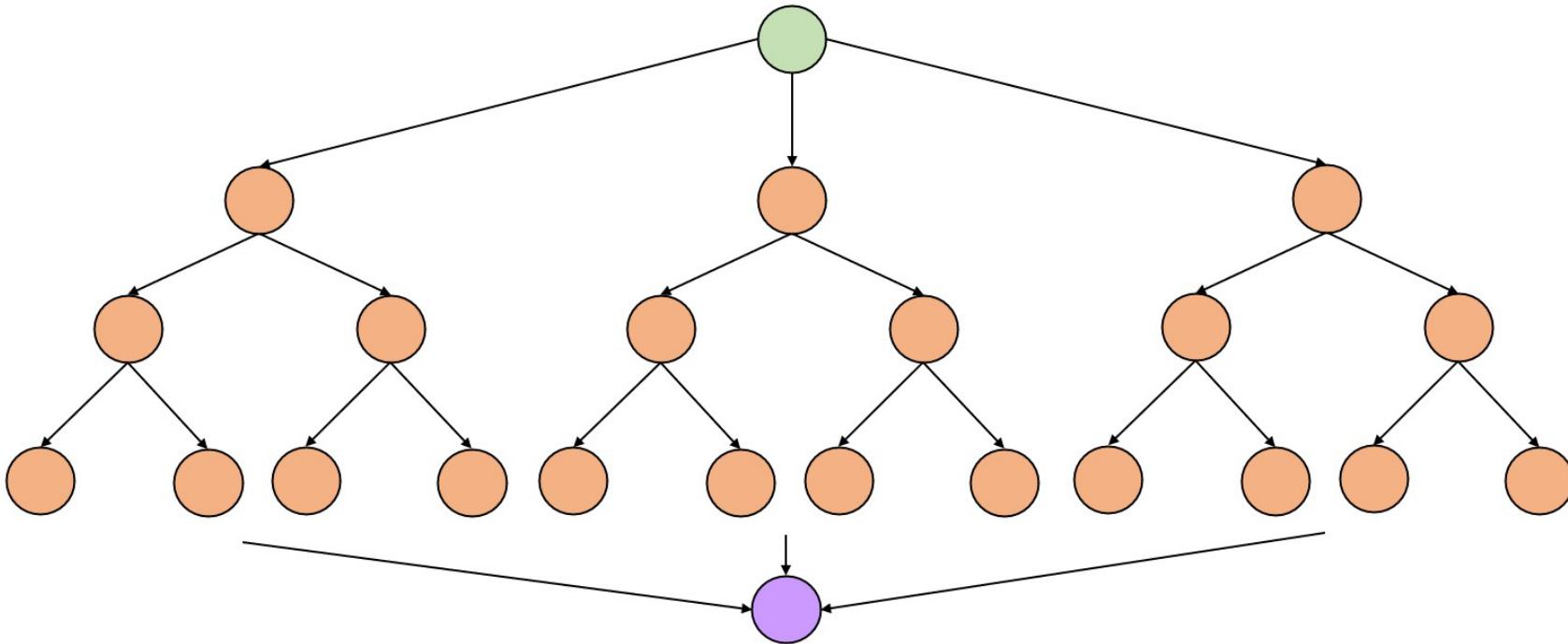


# SUPPORT VECTOR REGRESSION



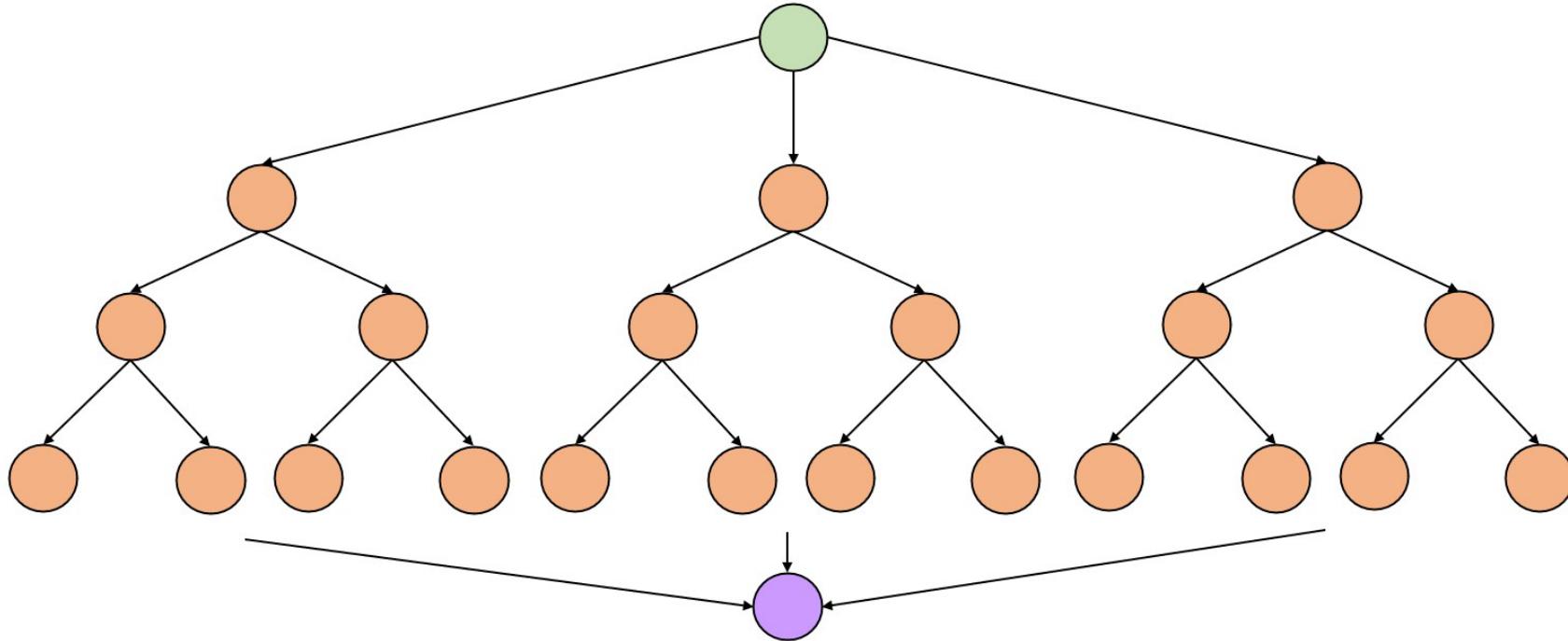
FUENTE: <https://scikit-learn.org/stable/modules/generated/sklearn.svm.SVR.html>

# RANDOM FOREST



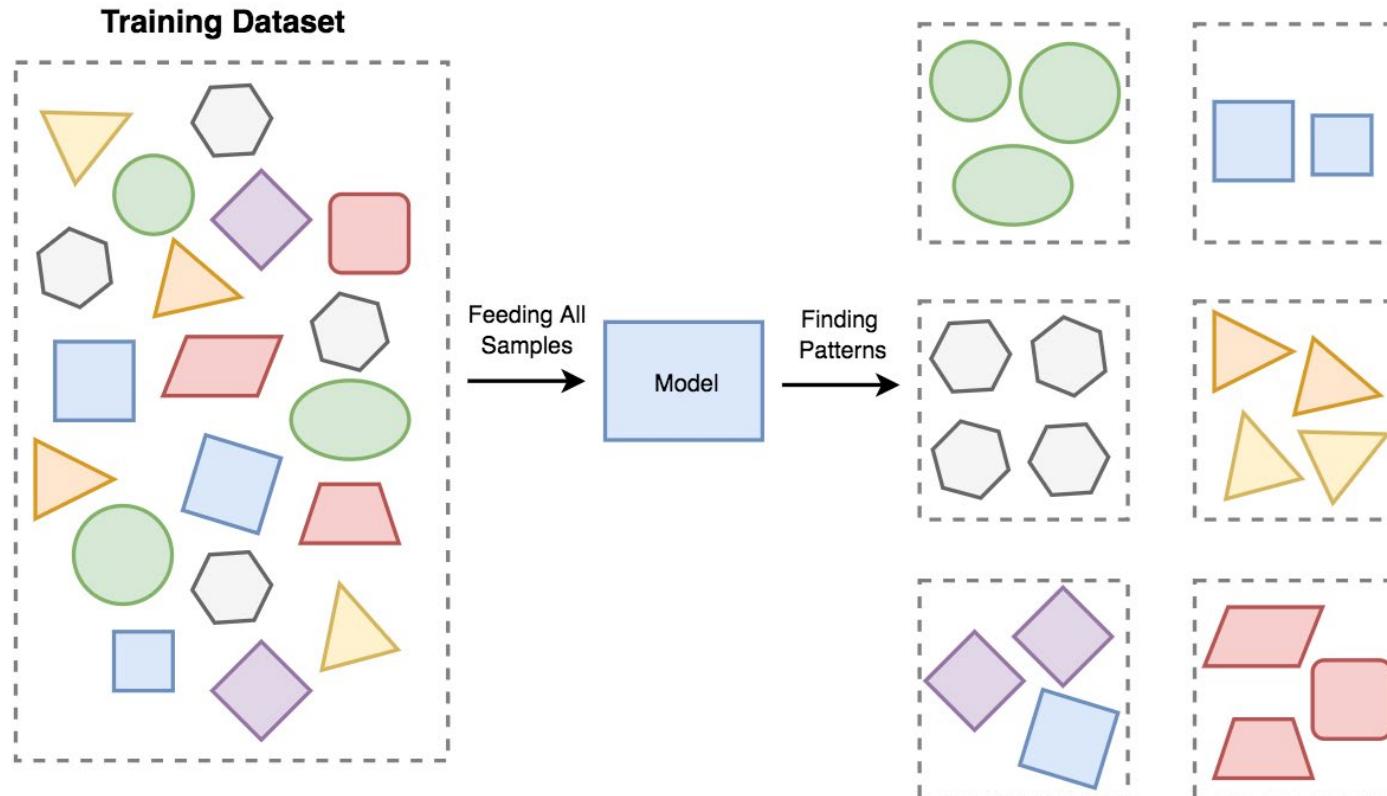
FUENTE: <https://scikit-learn.org/stable/modules/generated/sklearn.ensemble.RandomForestRegressor.html>

# EXTREME GRADIENT BOOSTING



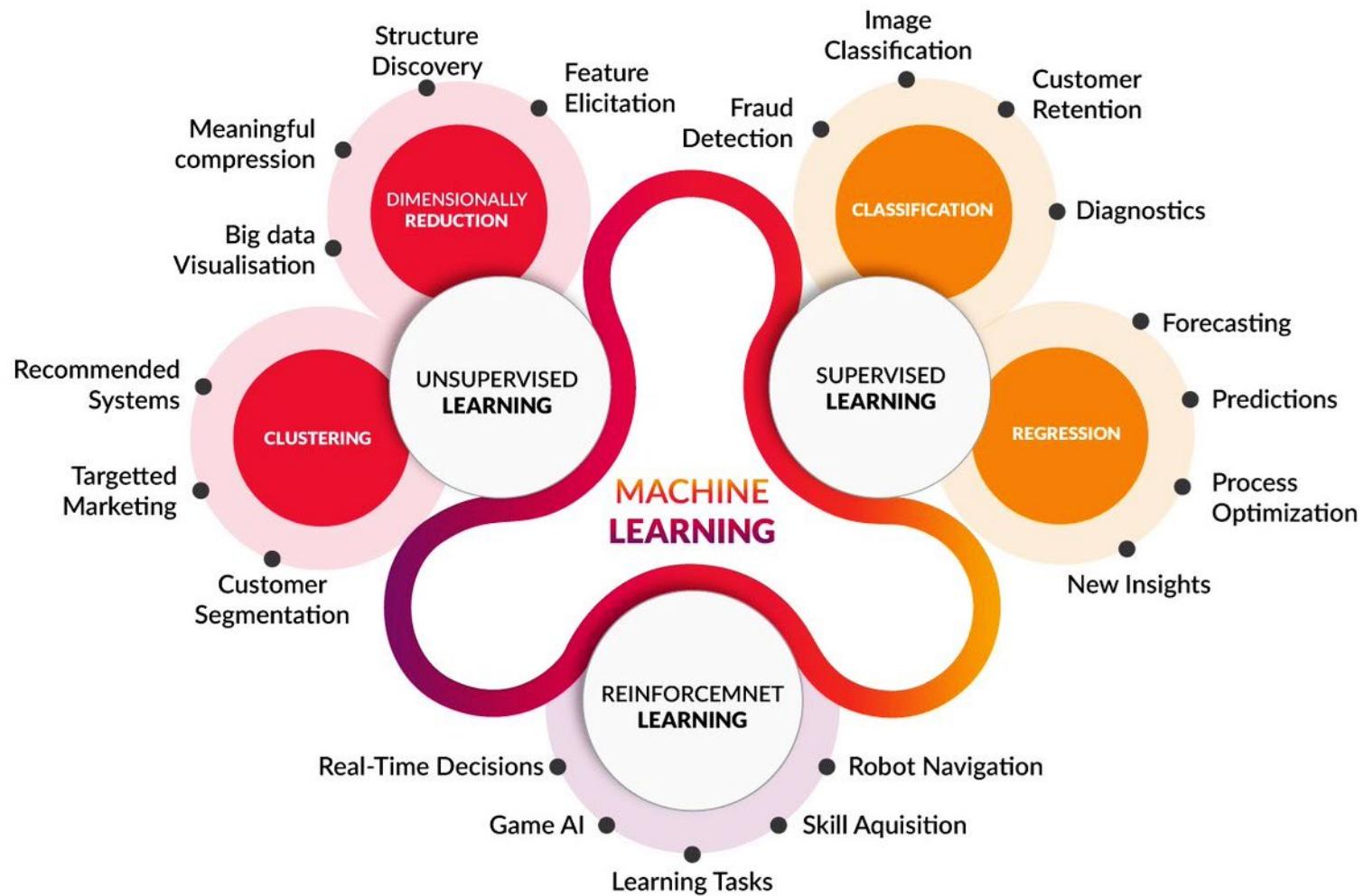
FUENTE: <https://xgboost.readthedocs.io/en/stable/>

# ALGORITMO NO SUPERVISADO



FUENTE: <https://towardsdatascience.com/coding-deep-learning-for-beginners-types-of-machine-learning-b9e651e1ed9d>

# APLICACIONES



FUENTE: <https://towardsdatascience.com/coding-deep-learning-for-beginners-types-of-machine-learning-b9e651e1ed9d>

# ¿CUÁLES SON LOS PASOS?



# ¿CÓMO PUEDO IR A FUTURO?

Modelos meteorológicos: Existen **modelos globales** de pronóstico de variables meteorológicas

MODELO “AMERICANO”



FUENTE: <https://www.nco.ncep.noaa.gov/pmb/products/gfs/>

MODELO “EUROPEO”



FUENTE: <https://www.ecmwf.int/>

# ¿CÓMO PUEDO IR A FUTURO?

Modelos meteorológicos: Existen **modelos globales** de pronóstico de variables meteorológicas

## MODELO “AMERICANO”



- ✓ Acceso abierto
- ✓ Cualquier punto alrededor del mundo
- ✓ Actualización más frecuente
- ✓ Pronóstico hasta 16 días
- ✗ Comúnmente menos preciso
- ✗ Menor resolución
- ✗ Dificultad de procesar (ambos)

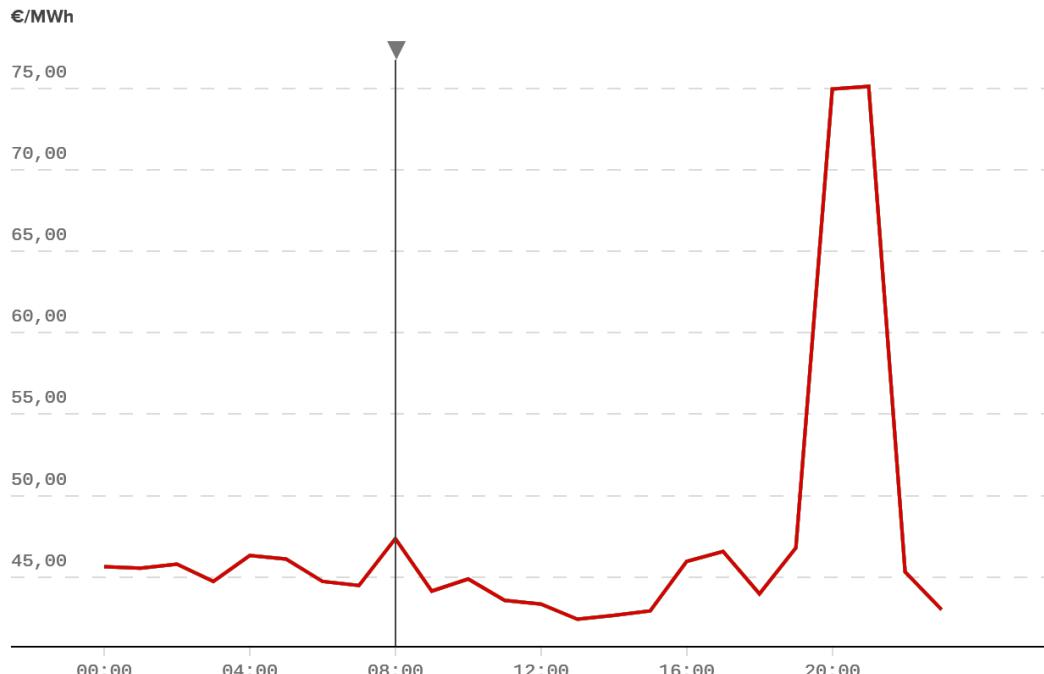
FUENTE: <https://www.nco.ncep.noaa.gov/pmb/products/gfs/>

# ¿CÓMO PUEDO IR A FUTURO?

Precio de la energía: Cada día la **REE** a las 20:00 publica los precios de **compra y venta** del día siguiente

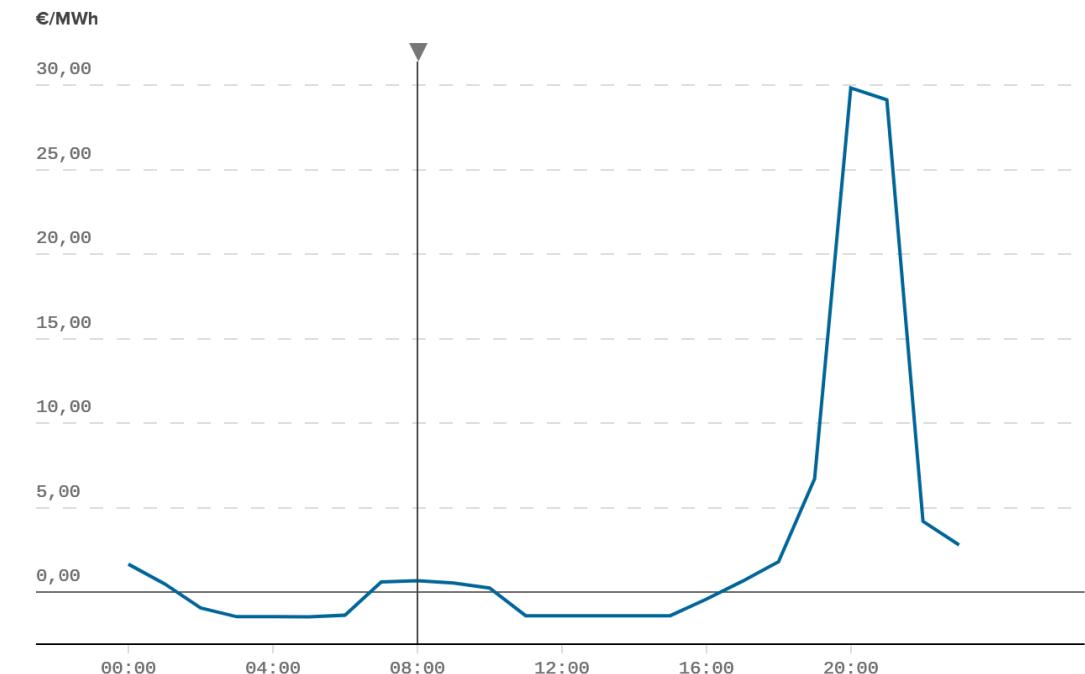
PRECIO COMPRA ENERGÍA

02/03/2024



PRECIO VENTA ENERGÍA

02/03/2024



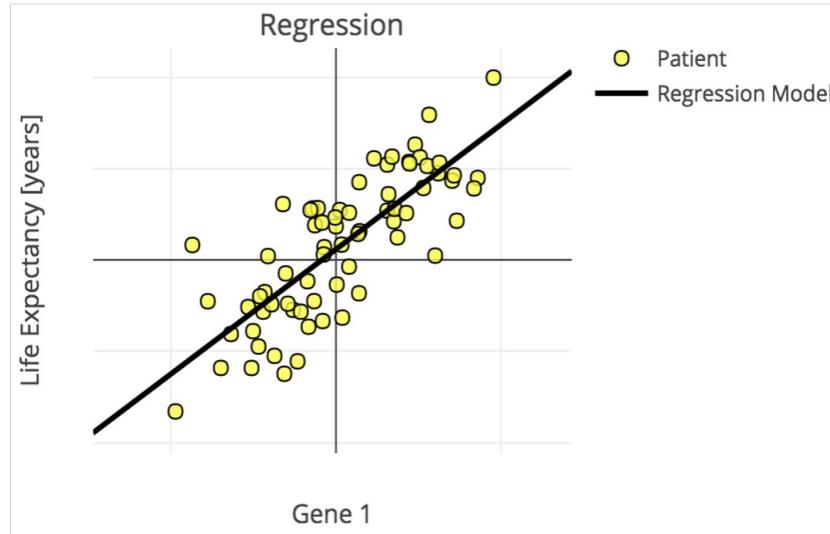
FUENTE: [https://www.esios.ree.es/es/analisis/1001?vis=1&start\\_date=02-03-2024T00%3A00&end\\_date=02-03-2024T23%3A55&geoids=8741&compare\\_start\\_date=01-03-2024T00%3A00&groupby=hour#](https://www.esios.ree.es/es/analisis/1001?vis=1&start_date=02-03-2024T00%3A00&end_date=02-03-2024T23%3A55&geoids=8741&compare_start_date=01-03-2024T00%3A00&groupby=hour#)

FUENTE: [https://www.esios.ree.es/es/analisis/1739?vis=1&start\\_date=02-03-2024T00%3A00&end\\_date=02-03-2024T23%3A55&geoids=&compare\\_start\\_date=01-03-2024T00%3A00&groupby=hour#](https://www.esios.ree.es/es/analisis/1739?vis=1&start_date=02-03-2024T00%3A00&end_date=02-03-2024T23%3A55&geoids=&compare_start_date=01-03-2024T00%3A00&groupby=hour#)

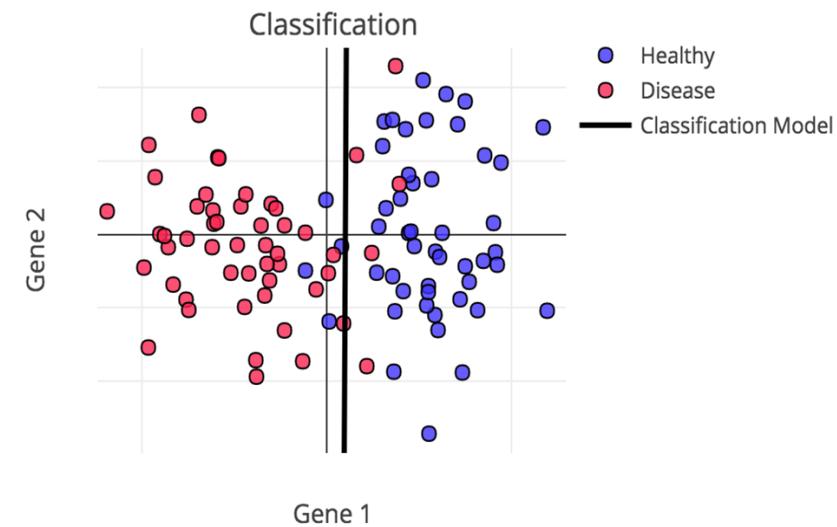
# ¿CUÁLES SON LOS PASOS?



# ¿CÓMO EVALÚO LOS MODELOS?



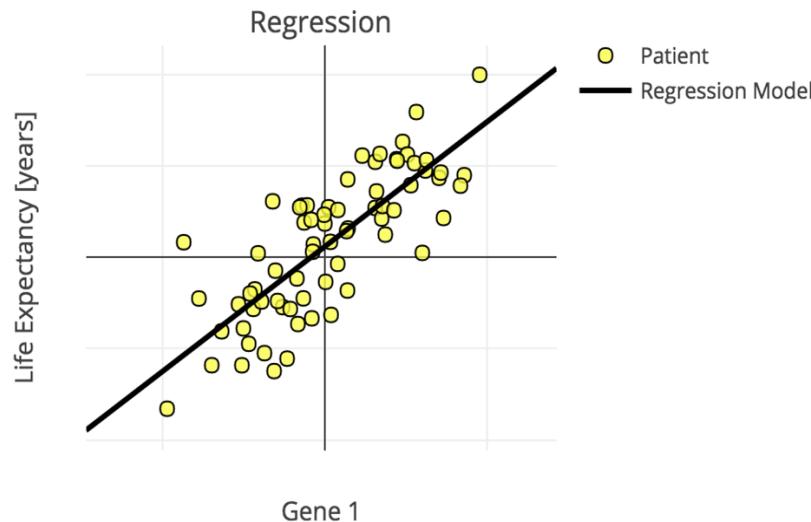
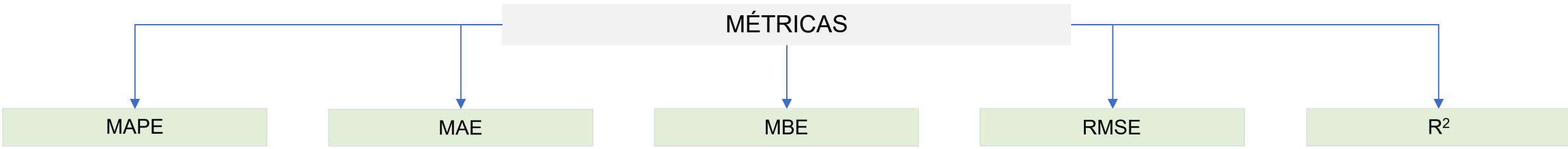
REGRESIÓN



CLASIFICACIÓN

# ¿CÓMO EVALÚO LA REGRESIÓN?

Rama del **ML**, que trata de identificar la pertenencia de la observación a un conjunto de categorías



FUENTE: <https://scikit-learn.org/stable/search.html?q=METRICS>

# MAPE

El **MAPE** (porcentaje de error medio absoluto) es un error relativo que muestra en porcentaje la dispersión (o varianza) de los resultados

$$MAPE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left| \frac{y_i - \hat{y}_i}{y_i} \right|$$

$$MAPE \in [0, +\infty]$$

- ✓ Ofrece la dispersión
- ✓ Independiente escala
- ✓ Fácil de interpretar
- ✗ Resultado puede ser infinito

FUENTE: [https://scikit-learn.org/stable/modules/generated/sklearn.metrics.mean\\_absolute\\_percentage\\_error.html](https://scikit-learn.org/stable/modules/generated/sklearn.metrics.mean_absolute_percentage_error.html)



Universidade  
de Vigo



# MAE

*El MAE (error medio absoluto) es una medida de la diferencia entre el valor predicho y el real*

$$MAE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |y_i - \hat{y}_i|$$

$$MAE \in [0, +\infty]$$

- ✓ Estable frente a outliers
- ✗ Dependiente de escala
- ✗ Complicado de interpretar

FUENTE: [https://scikit-learn.org/stable/modules/generated/sklearn.metrics.mean\\_absolute\\_percentage\\_error.html](https://scikit-learn.org/stable/modules/generated/sklearn.metrics.mean_absolute_percentage_error.html)



Universidade de Vigo



# MBE

*El **MBE** (error de sesgo medio) estima la sobreestimación o subestimación del modelo*

$$MBE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)$$

$$MBE \in [-\infty, +\infty]$$

- ✓ Ofrece el sesgo de los datos
- ✗ Dependiente de escala
- ✗ Complicado de interpretar
- ✗ Sensitivo a sesgo múltiple

# RMSE

El RMSE (raíz del error cuadrático medio) muestra la dispersión del modelo a los valores reales

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2}{n}}$$

$$RMSE \in [0, +\infty]$$

- ✓ Diferenciable
- ✓ Ofrece la dispersión
- ✗ Dependiente de escala
- ✗ Complicado de interpretar
- ✗ Penaliza errores grandes

\* squared=False

FUENTE: [https://scikit-learn.org/stable/modules/generated/sklearn.metrics.mean\\_squared\\_error.html](https://scikit-learn.org/stable/modules/generated/sklearn.metrics.mean_squared_error.html)



Universidade de Vigo



# R<sup>2</sup>

*El R<sup>2</sup> (coeficiente de determinación) indica la variación de las predicciones*

$$R^2 = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2}{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}$$

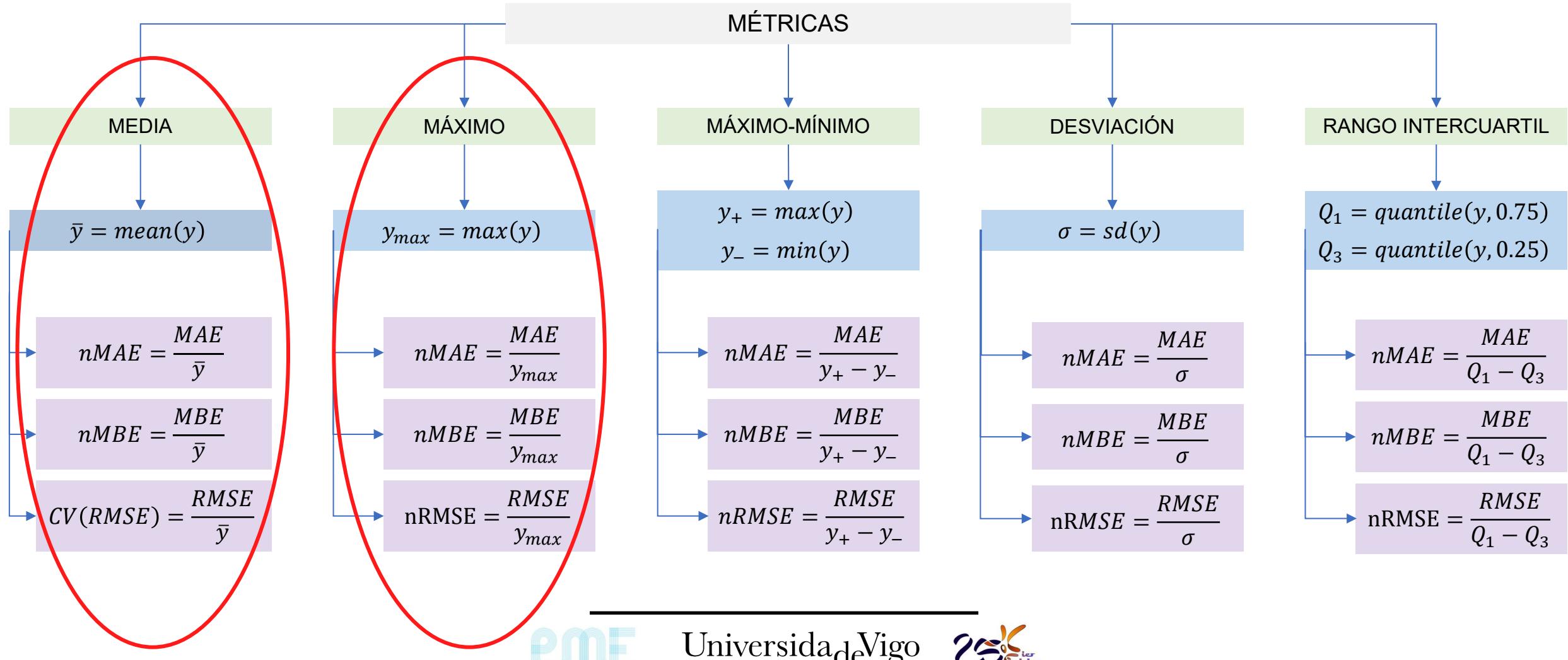
$$R^2 \in [0, 1]$$

- ✓ Ofrece la variabilidad
- ✓ Fácil de interpretar
- ✓ Independiente de escala
- ✗ Complicado de interpretar
- ✗ Dependiente de variables

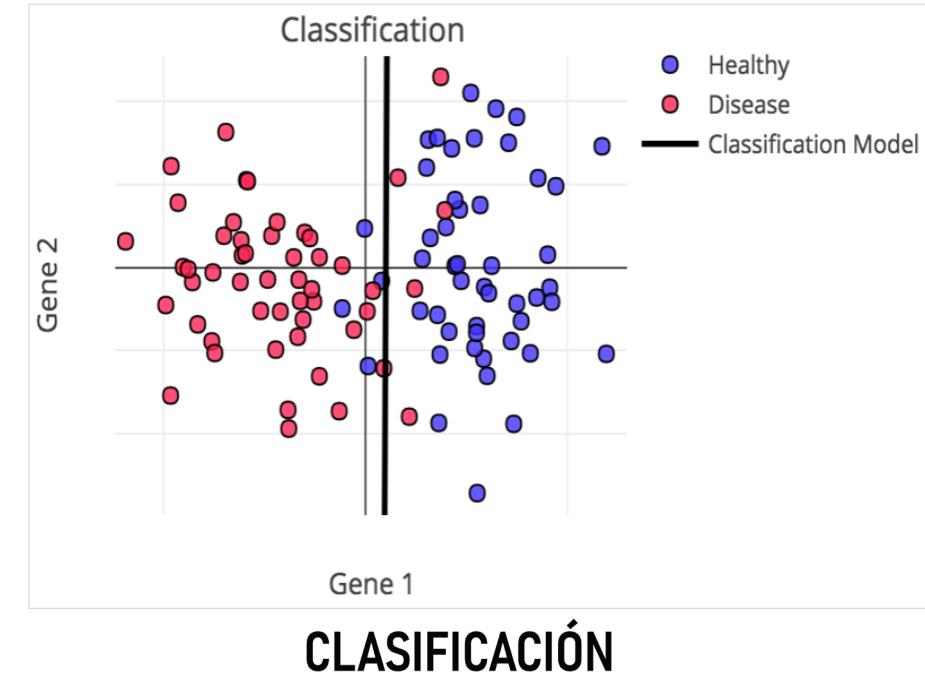
FUENTE: [https://scikit-learn.org/stable/modules/generated/sklearn.metrics.r2\\_score.html#sklearn.metrics.r2\\_score](https://scikit-learn.org/stable/modules/generated/sklearn.metrics.r2_score.html#sklearn.metrics.r2_score)

# ¿CÓMO EVITO LAS DEPENDENCIAS DE ESCALA?

MAE, MBE y RMSE son dependientes de escala, mediante la normalización, mostramos los valores porcentuales

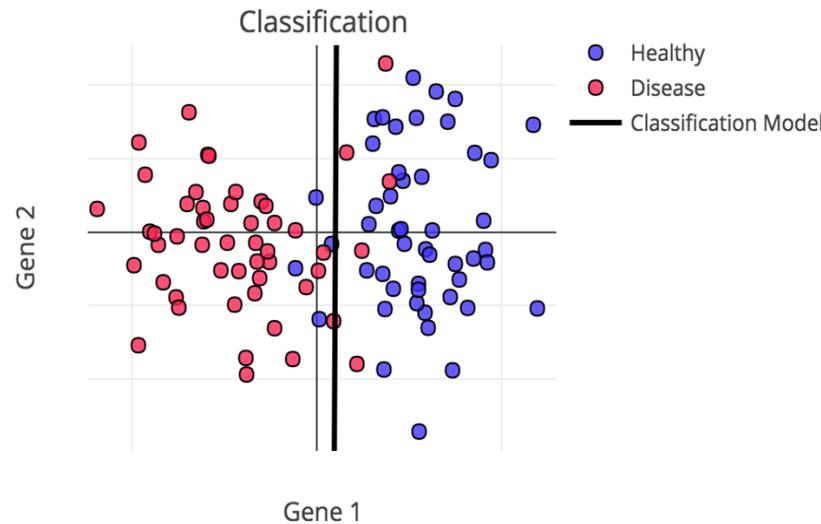
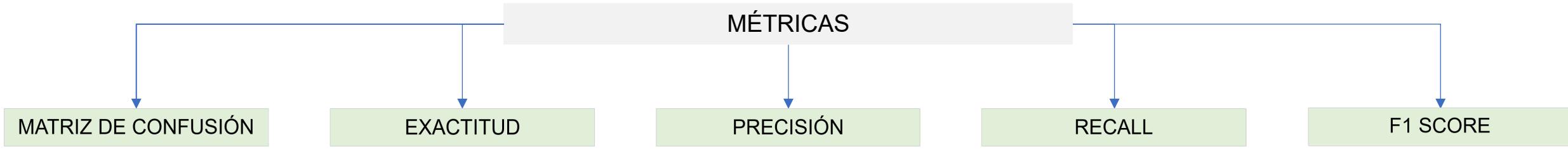


# ¿CÓMO EVALÚO LOS MODELOS?



# ¿CÓMO EVALÚO LA CLASIFICACIÓN?

Rama del **ML**, que trata de identificar la pertenencia de la observación a un conjunto de categorías

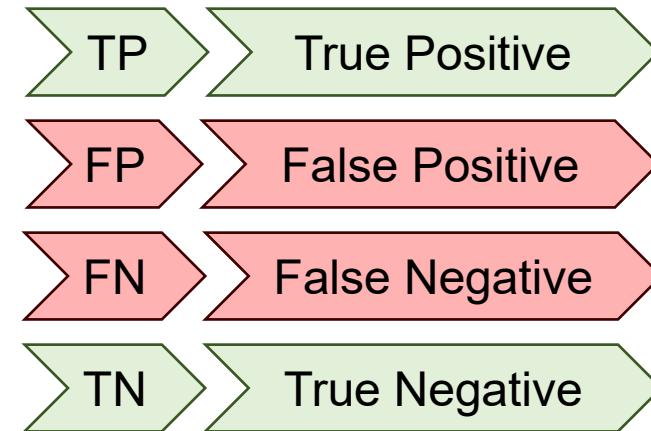


FUENTE: <https://scikit-learn.org/stable/search.html?q=METRICS>

# MATRIZ DE CONFUSIÓN

*La matriz de confusión es una tabla que representa el ajuste del modelo*

		1	0
1	TP	FP	
0	FN	TN	

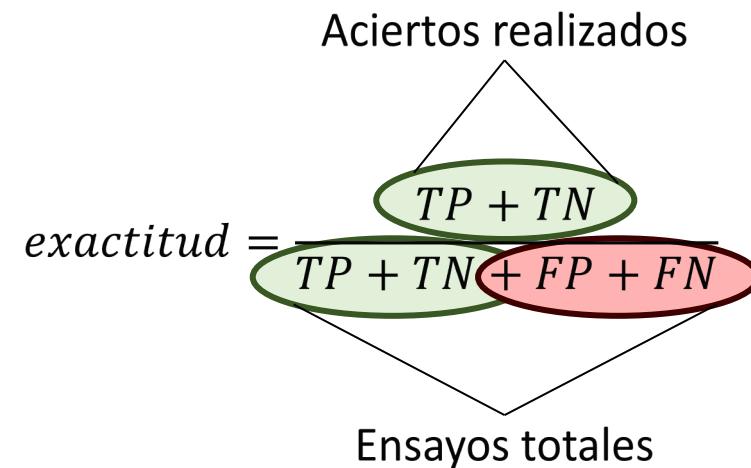


FUENTE: [https://scikit-learn.org/stable/modules/model\\_evaluation.html#confusion-matrix](https://scikit-learn.org/stable/modules/model_evaluation.html#confusion-matrix)

# EXACTITUD

La **exactitud** muestra el porcentaje de valores correctamente clasificados

	1	0
1	TP	FP
0	FN	TN

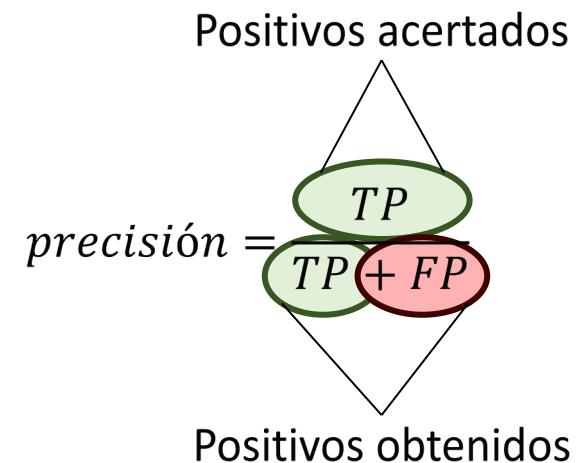


FUENTE: [https://scikit-learn.org/stable/modules/model\\_evaluation.html#confusion-matrix](https://scikit-learn.org/stable/modules/model_evaluation.html#confusion-matrix)

# PRECISIÓN

*La precisión representa el porcentaje de valores positivos que son clasificados como positivos*

	1	0
1	TP	FP
0	FN	TN

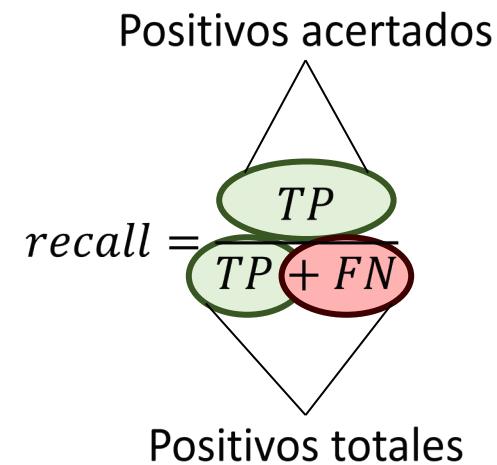


FUENTE: [https://scikit-learn.org/stable/modules/generated/sklearn.metrics.precision\\_score.html#sklearn.metrics.precision\\_score](https://scikit-learn.org/stable/modules/generated/sklearn.metrics.precision_score.html#sklearn.metrics.precision_score)

# RECALL

*El recall muestra el porcentaje de valores positivos correctamente clasificados*

	1	0
1	TP	FP
0	FN	TN



FUENTE: [https://scikit-learn.org/stable/modules/generated/sklearn.metrics.recall\\_score.html#sklearn.metrics.recall\\_score](https://scikit-learn.org/stable/modules/generated/sklearn.metrics.recall_score.html#sklearn.metrics.recall_score)

# F1 SCORE

*La F1 score muestra el balance del conjunto de resultados*

	1	0
1	TP	FP
0	FN	TN

$$F1 \text{ score} = 2 \times \frac{\text{recall} \times \text{precisión}}{\text{recall} + \text{precisión}}$$

**recall** positivos clasificados como positivos clasificados  
**precisión** positivos correctamente clasificados

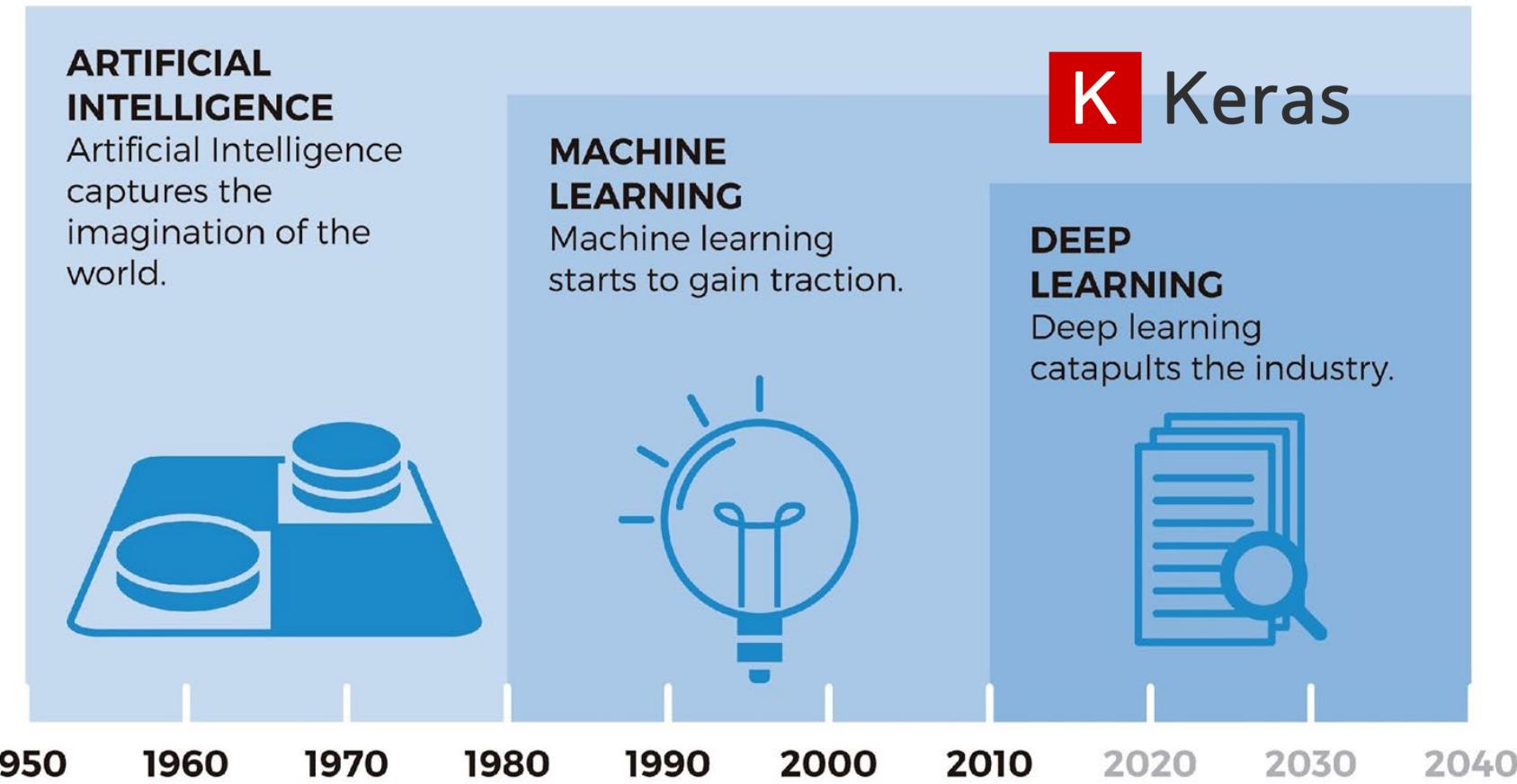
FUENTE: [https://scikit-learn.org/stable/modules/generated/sklearn.metrics.f1\\_score.html#sklearn.metrics.f1\\_score](https://scikit-learn.org/stable/modules/generated/sklearn.metrics.f1_score.html#sklearn.metrics.f1_score)

# ¿CUÁLES SON LOS PASOS?



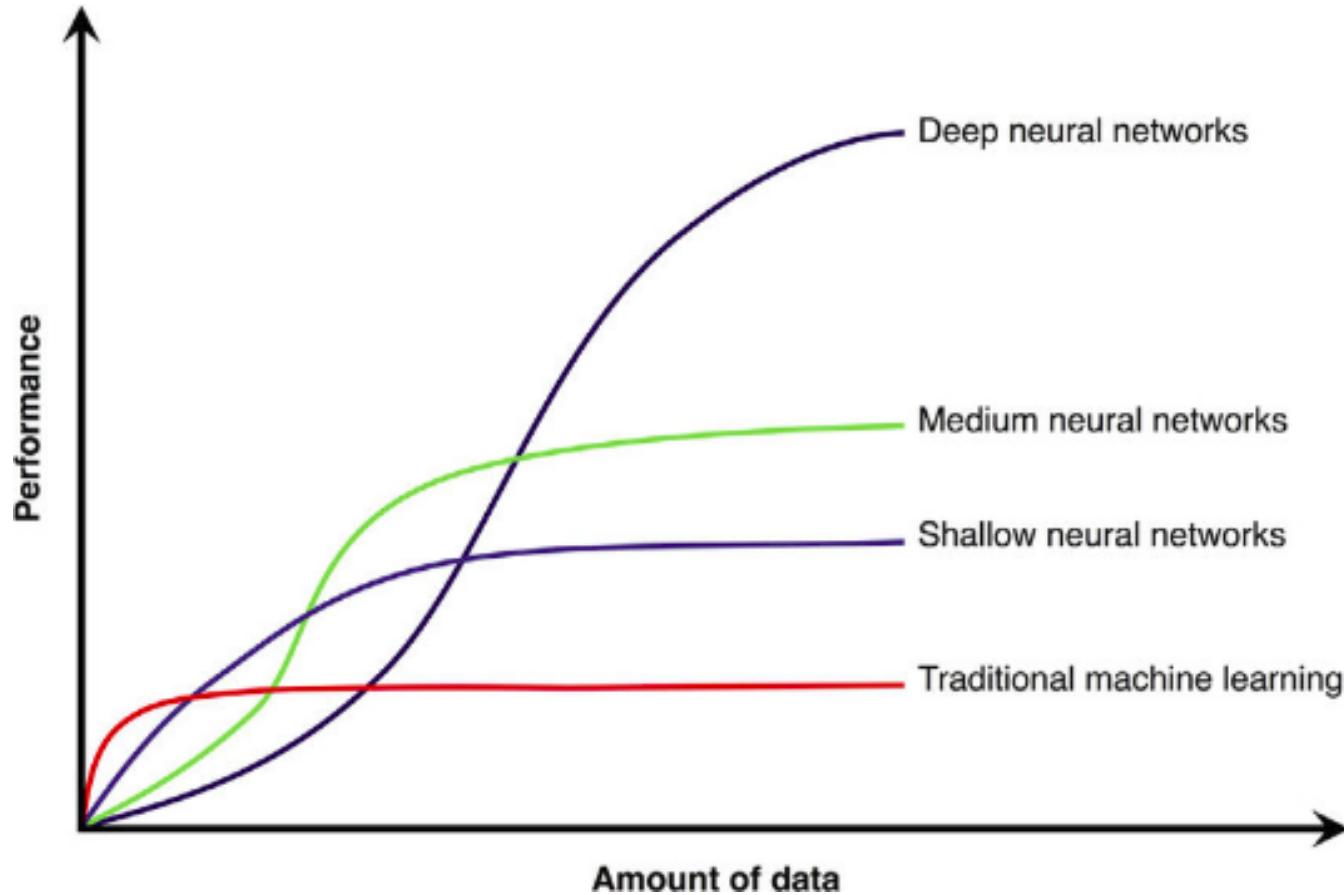
# ¿CÓMO SE RECONOCEN PATRONES?

Rama del **Machine Learning** (ML), que replica el funcionamiento del sistema nervioso humano



FUENTE: <https://keras.io/>

# ¿POR QUÉ EL DEEP LEARNING ESTÁ DESPEGANDO?



FUENTE: <https://medium.com/@tanmayshimpi/difference-between-ml-and-deep-learning-with-respect-to-splitting-of-the-dataset-into-375d433ee2c8>

# ¿CÓMO ES EL DEEP LEARNING POR DENTRO?

$$Z = [z^{(1)}, z^{(2)}, \dots, z^{(m)}] = w^T X + [b, b, \dots, b] = [w^T x^{(1)} + b, w^T x^{(2)} + b, \dots, w^T x^{(3)} + b]$$

↳ python →  $Z = np.dot(w.T, X) + b$  "broadcasting"

$$A = [a^{(1)}, a^{(2)}, \dots, a^{(m)}] = \sigma(Z)$$

Vectorizing Logistic Regression's Gradient Output

$$dz^{(1)} = a^{(1)} - y^{(1)} \quad dz^{(2)} = a^{(2)} - y^{(2)}$$

$$dZ = [dz^{(1)}, dz^{(2)}, \dots, dz^{(m)}]_{1,m}$$

$$A = [a^{(1)}, a^{(2)}, \dots, a^{(m)}] \quad Y = [y^{(1)}, y^{(2)}, \dots, y^{(m)}]$$

$$db = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m dz^{(i)} \rightarrow \text{Python} \rightarrow \frac{1}{m} np.sum(dZ)$$

$$dw = \frac{1}{m} X dZ^T = \frac{1}{m} \begin{bmatrix} x_1^{(1)} & \dots & x_1^{(m)} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} dz^{(1)} \\ dz^{(2)} \\ \vdots \\ dz^{(m)} \end{bmatrix} = \frac{1}{m} [x^{(1)} dz^{(1)} \dots x^{(m)} dz^{(m)}]$$

$$w := w - \alpha dw$$

$$b := b - \alpha db$$

$$dZ = A - Y$$

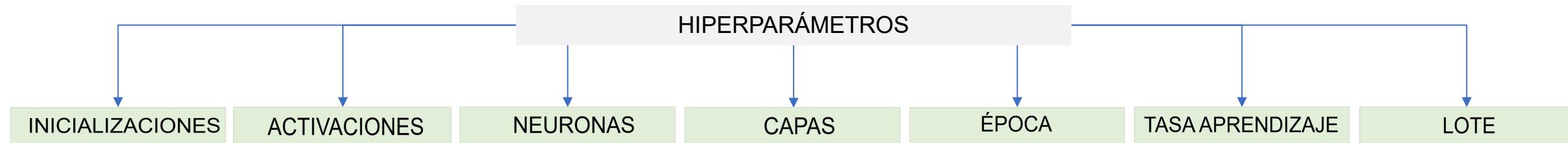
for iter in range(1000):

# ¿QUÉ DEBEMOS AJUSTAR?

Los **parámetros** son un conjunto de características que se ajustan a medida que se realiza el proceso de entrenamiento

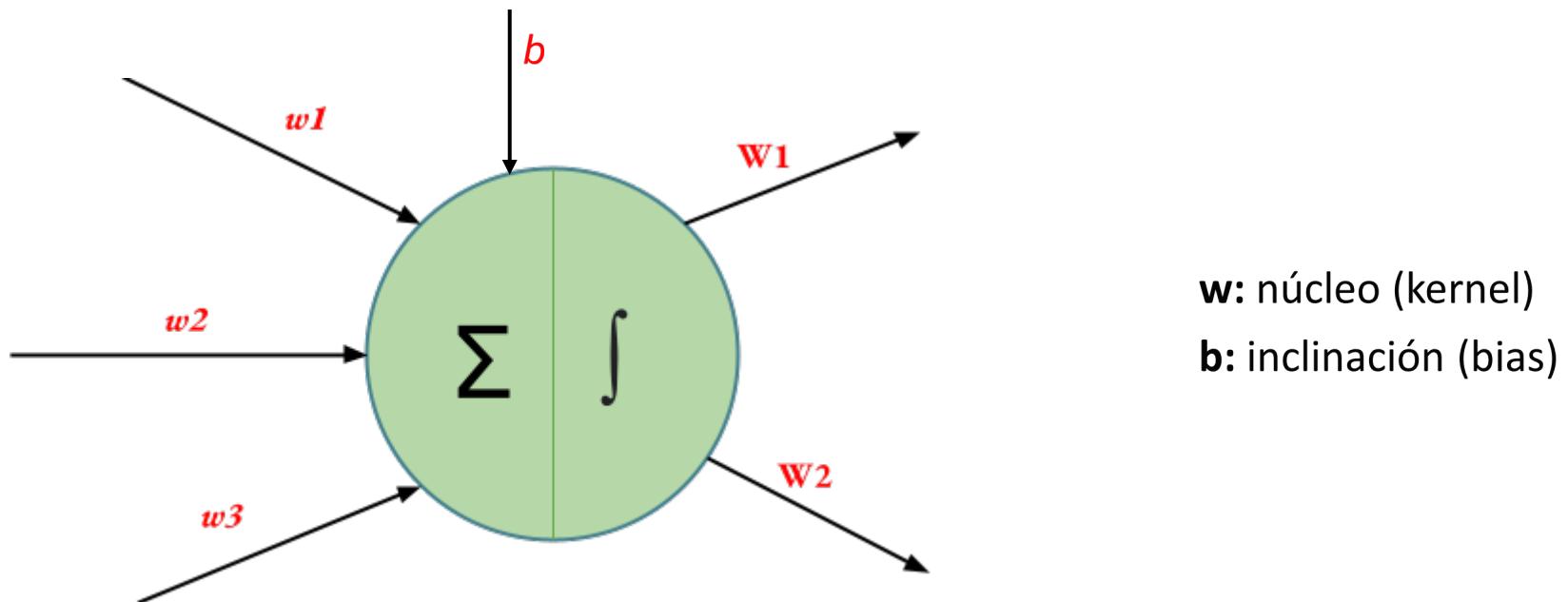


Los **hiperparámetros** son un conjunto de características que son ajustadas previo proceso de entrenamiento



# PESOS

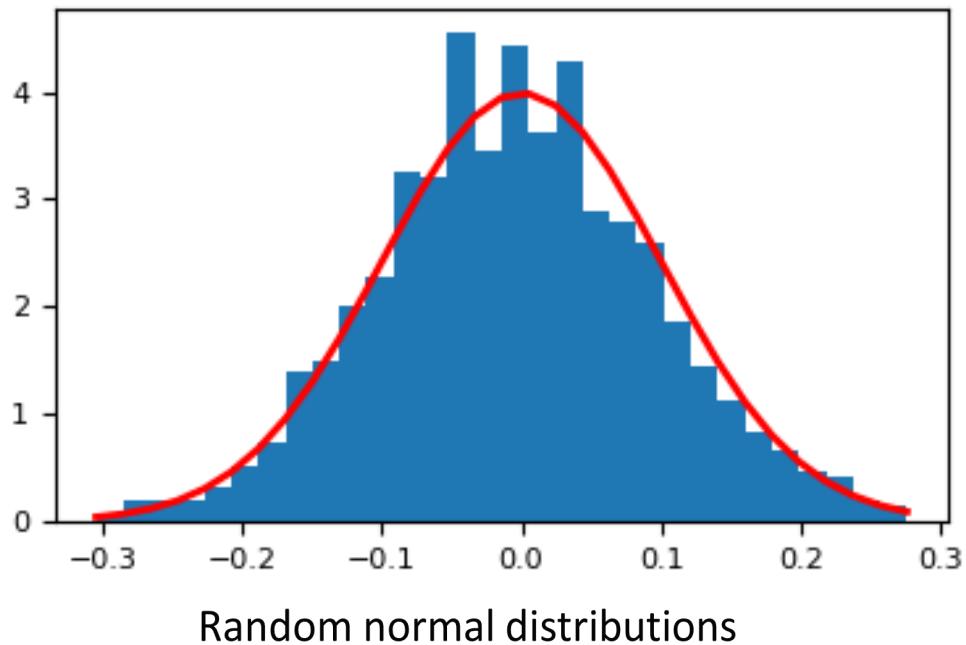
Los **pesos** son parámetros que se autoajustan a medida que se realiza el entrenamiento



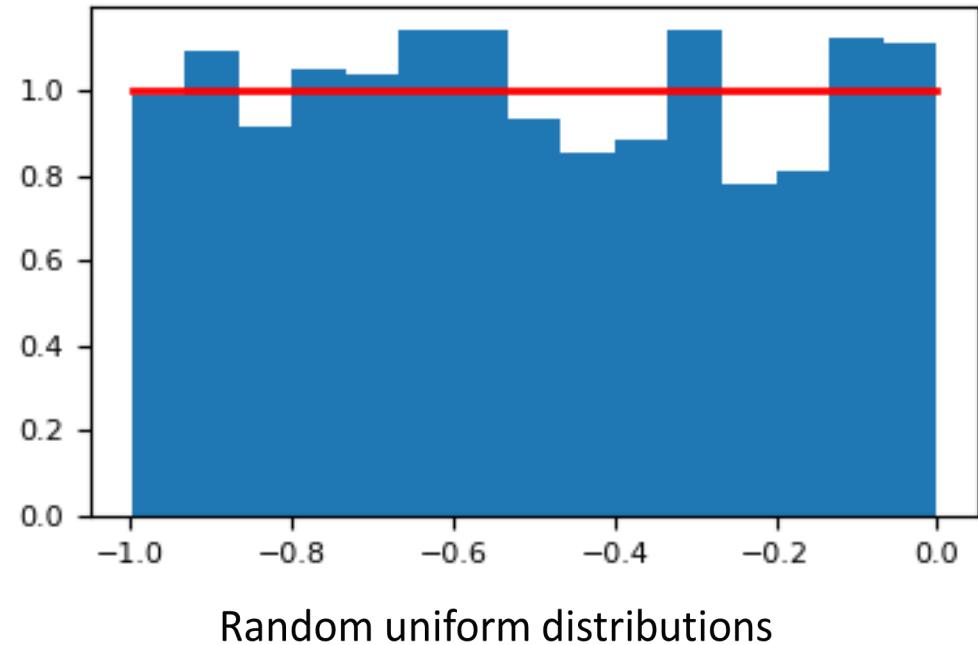
FUENTE: <https://blog.josemarianoalvarez.com/2018/06/10/el-perceptron-como-neurona-artificial/>

# INICIALIZACIONES

*Las **inicializaciones** ofrecen la distribución inicial de los pesos*



Random normal distributions

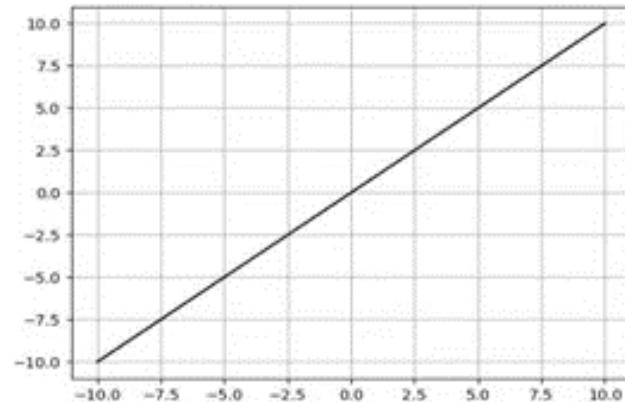


Random uniform distributions

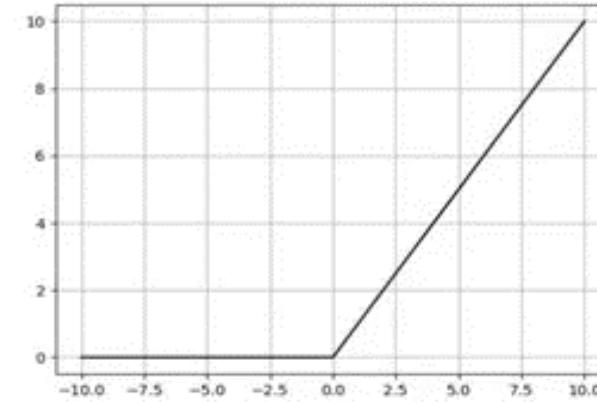
FUENTE: <https://numpy.org/doc/stable/reference/random/generated/numpy.random.normal.html>

# ACTIVACIONES

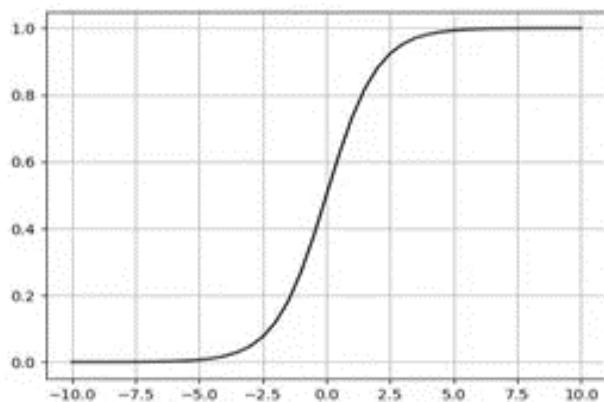
Las **activaciones** replican los impulsos nerviosos que se producen en el paso de información del sistema nervioso



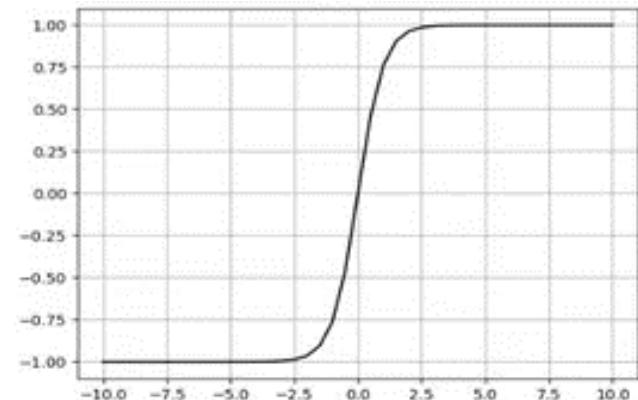
Linear



ReLU



Sigmoid

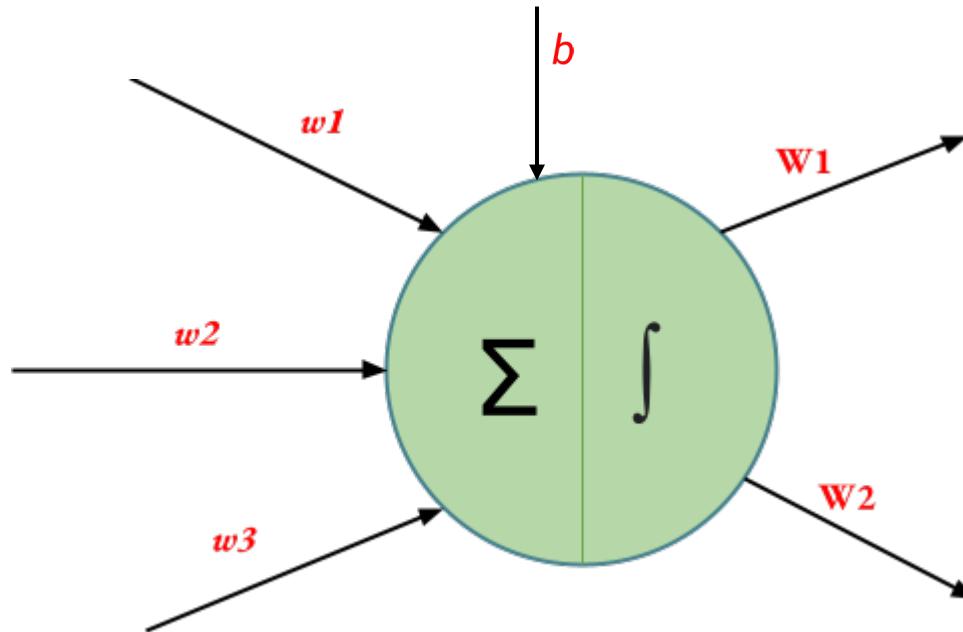


tanh

FUENTE: <https://www.mdpi.com/2076-3417/11/17/7991>

# NEURONAS

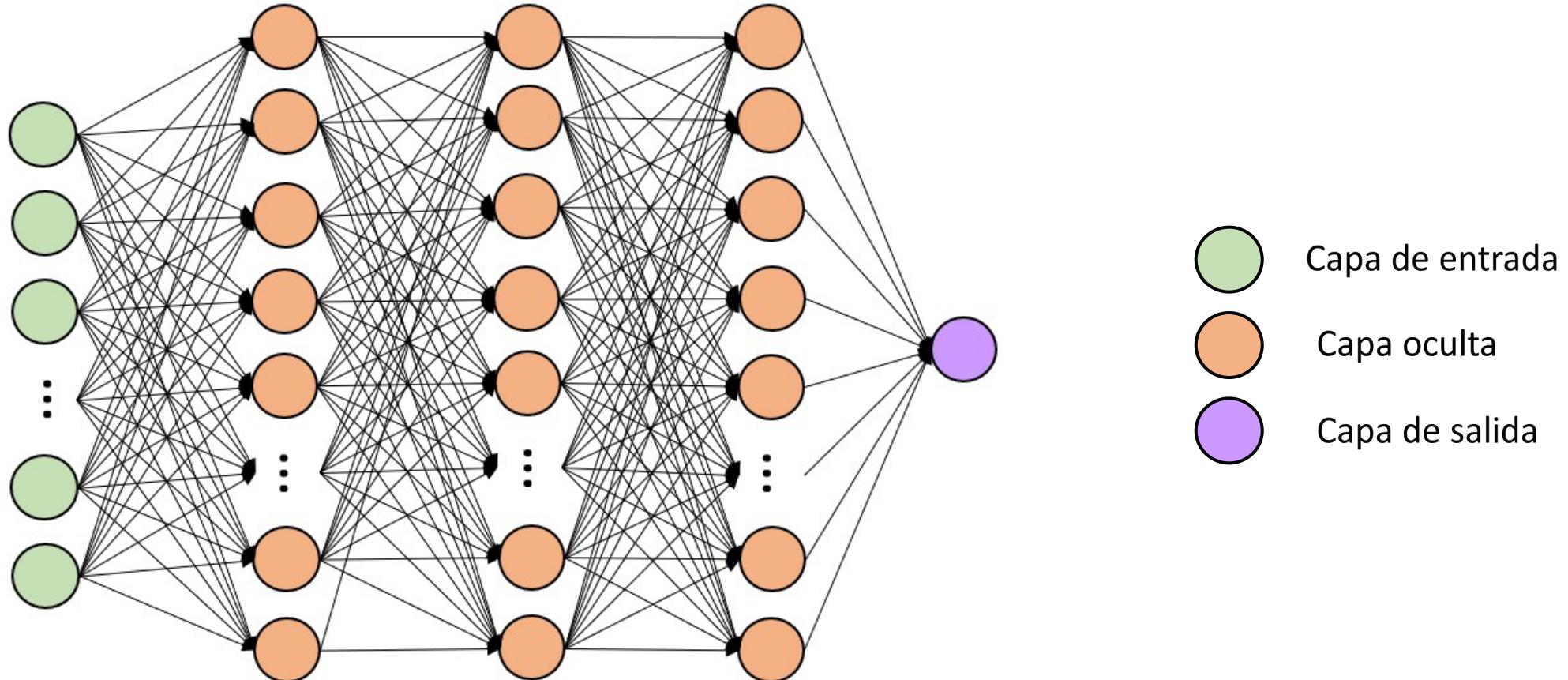
*Las neuronas son las conexiones que procesan los datos y se adaptan al entorno*



FUENTE: <https://blog.josemarianoalvarez.com/2018/06/10/el-perceptron-como-neurona-artificial/>

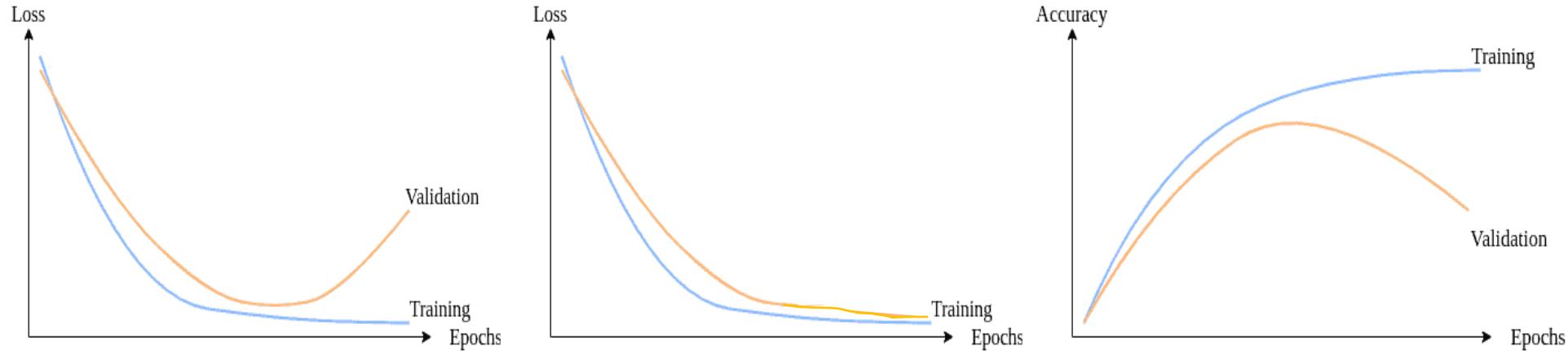
# CAPAS

*Las **capas** corresponden a las diferentes agrupaciones de los nodos*



# ÉPOCA

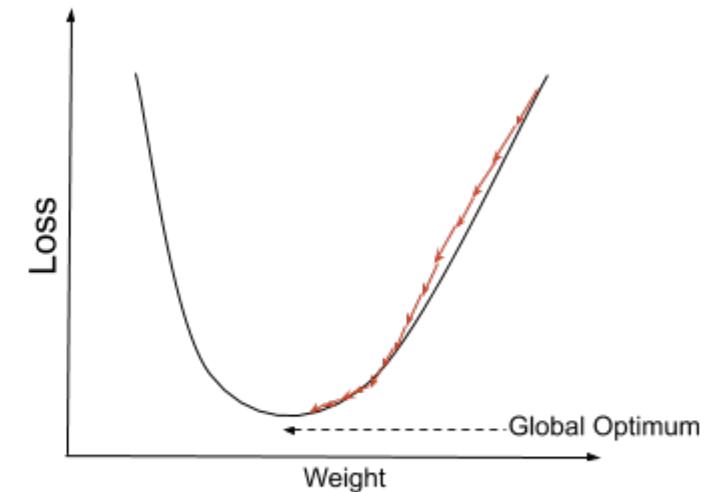
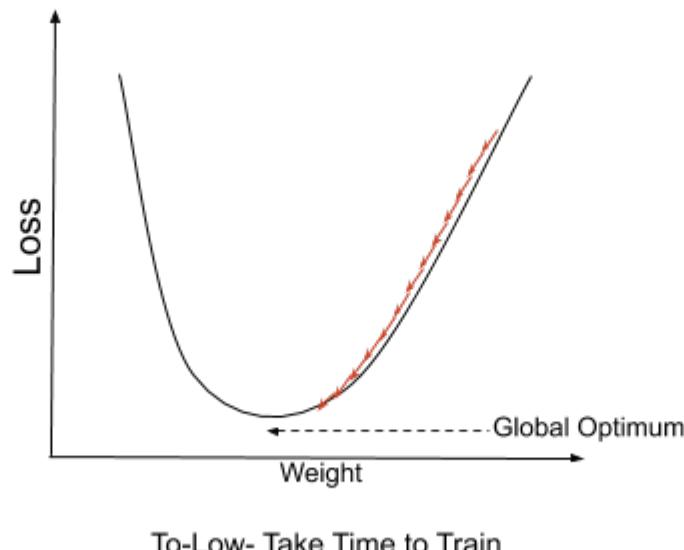
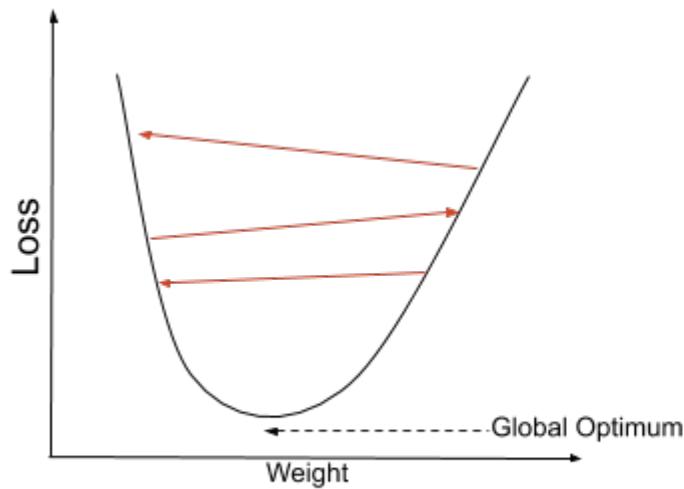
*La época (epoch) corresponde al número de ciclos completos que se realiza el entrenamiento*



FUENTE: <https://deepai.org/machine-learning-glossary-and-terms/epoch>

# TASA APRENDIZAJE

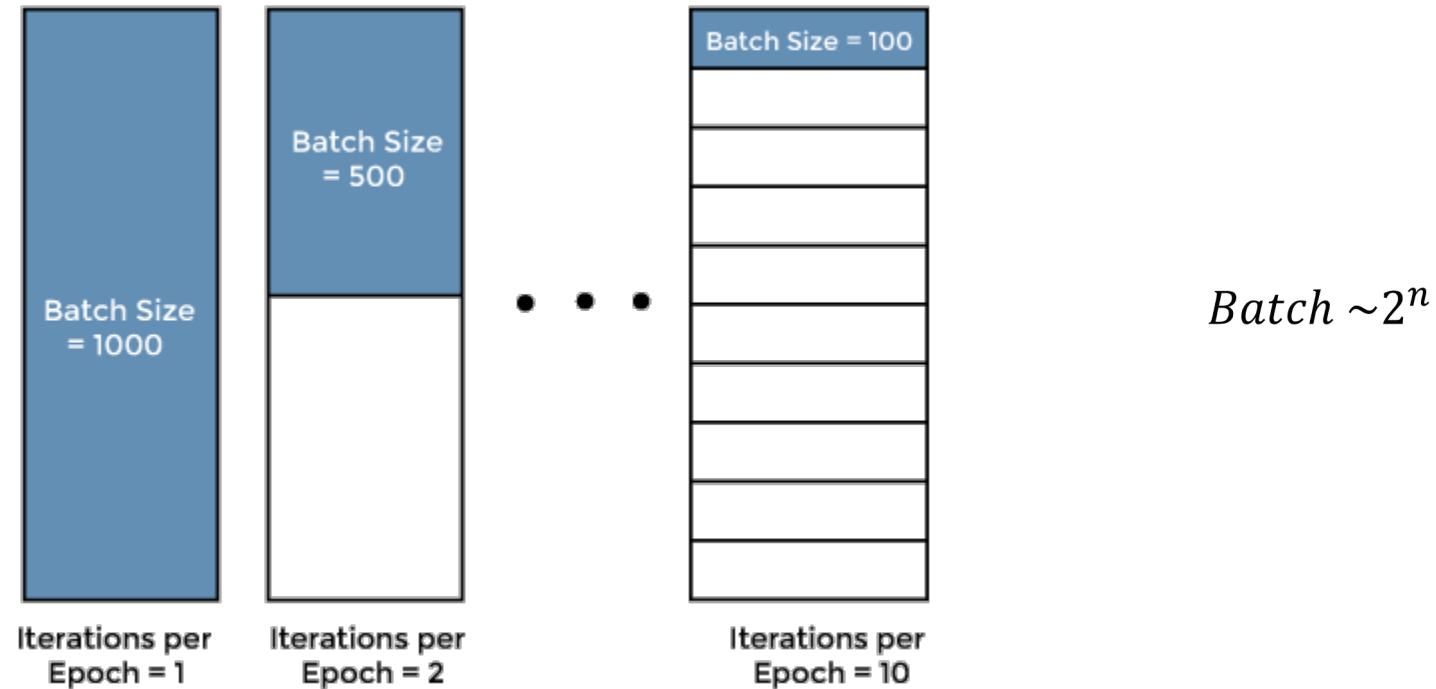
*La tasa de aprendizaje determina el tamaño de los pasos en dirección al mínimo*



FUENTE: <https://androidkt.com/change-learning-rate-in-the-pytorch-using-learning-rate-scheduler/>

# LOTE

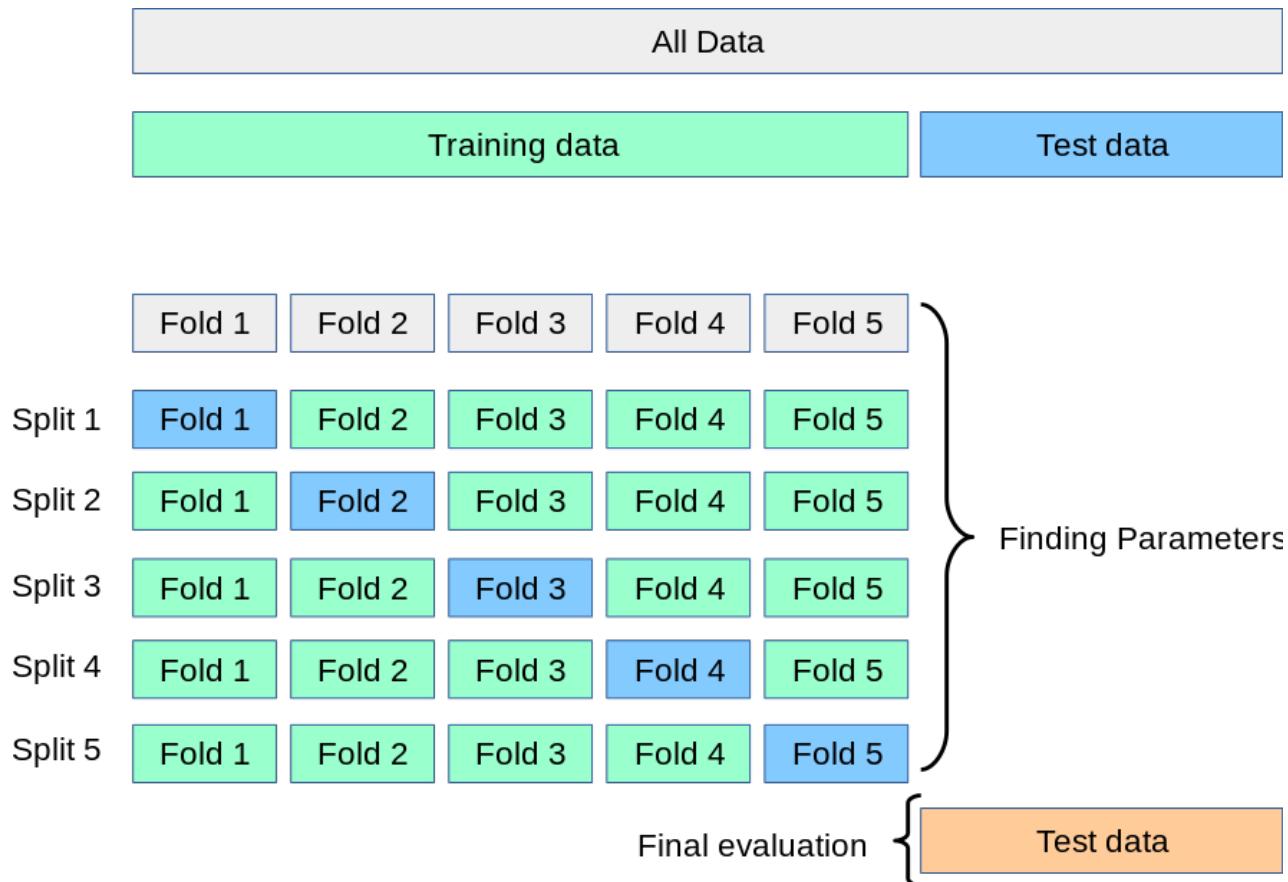
*El lote (batch) define el número de muestras del conjunto de datos de entrenamiento*



FUENTE: <https://www.javatpoint.com/epoch-in-machine-learning>

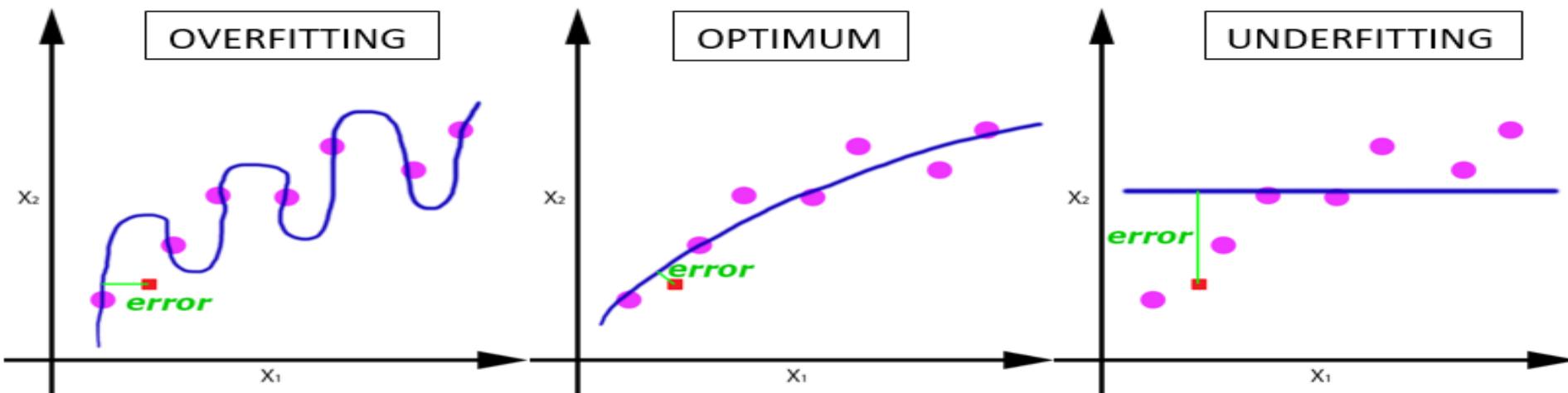
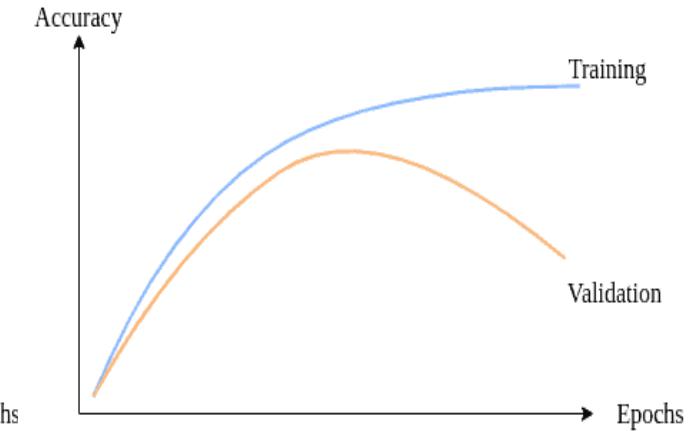
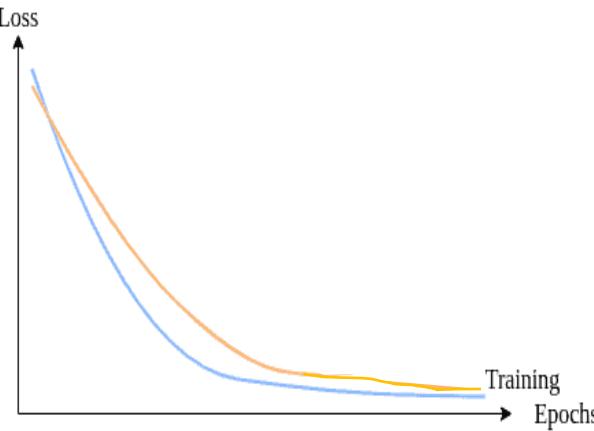
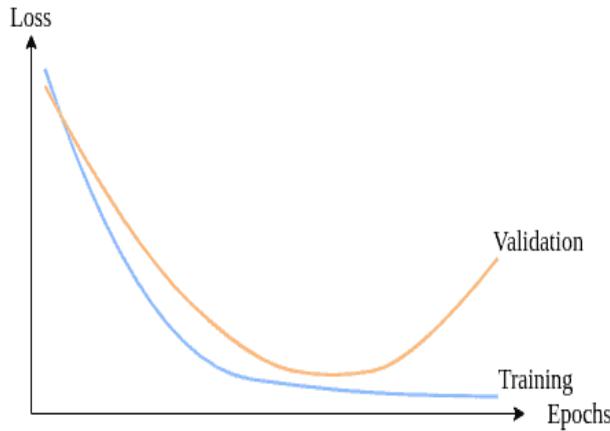
# ¿CÓMO ASEGURÓ LA REPRODUCIBILIDAD?

La **validación cruzada** es una técnica estadística que evalúa y prueba el rendimiento del modelo en diferentes divisiones



FUENTE: [https://scikit-learn.org/stable/modules/cross\\_validation.html](https://scikit-learn.org/stable/modules/cross_validation.html)

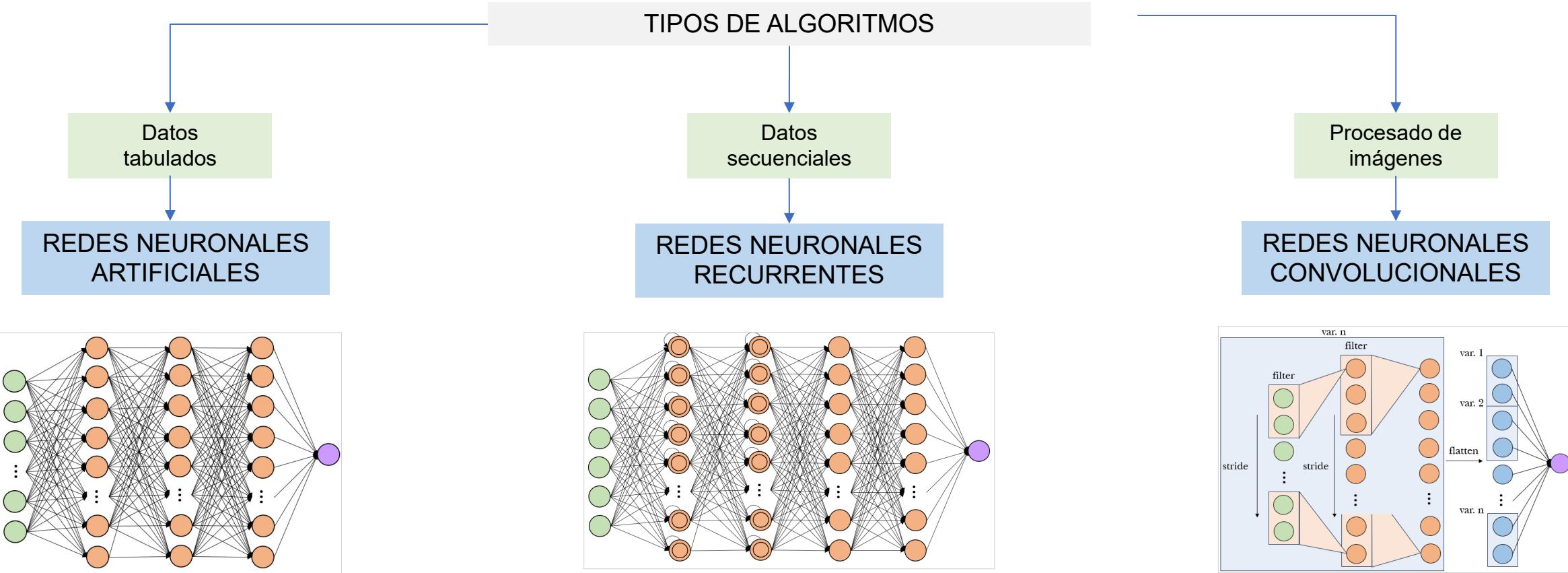
# ¿CÓMO SÉ SI EL MODELO ES BUENO?



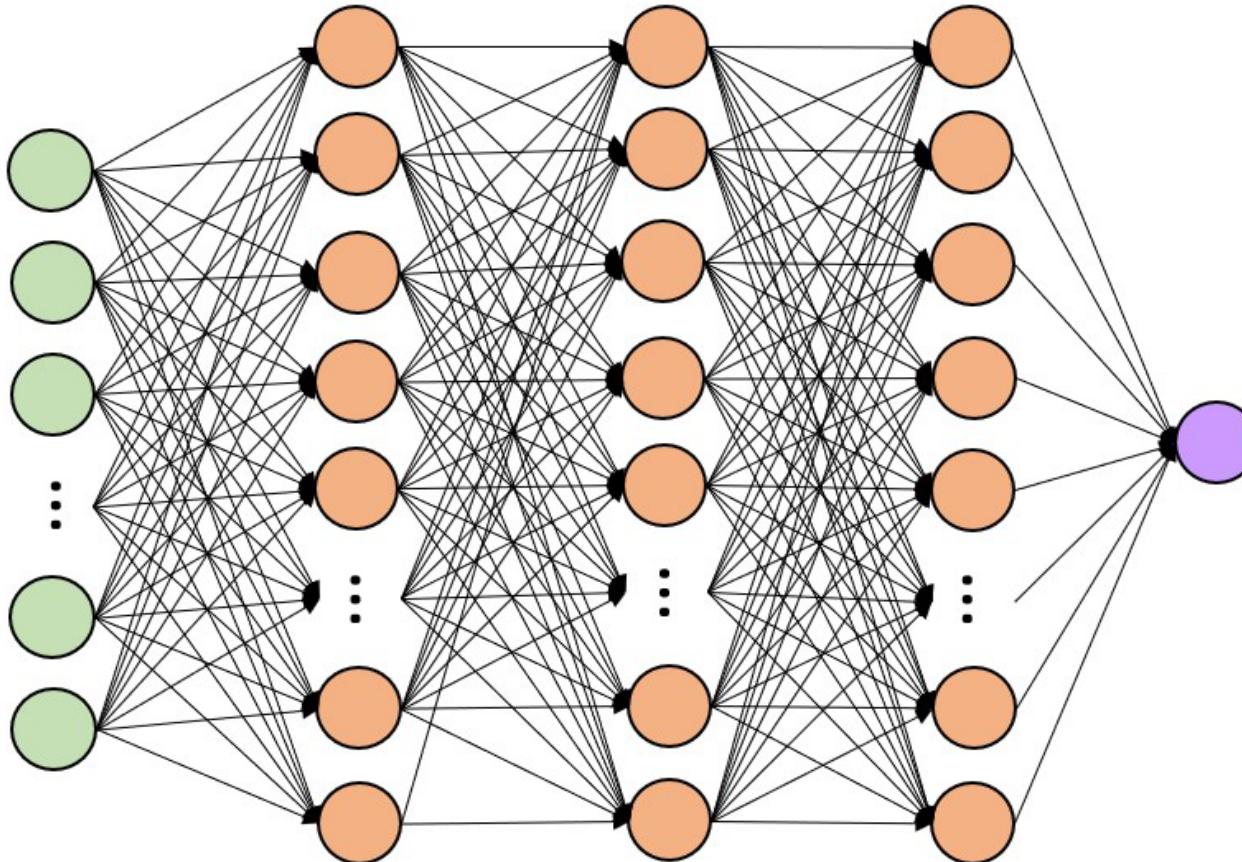
FUENTE: <https://www.javatpoint.com/epoch-in-machine-learning>

# ¿QUÉ ES DEEP LEARNING?

Rama del **Machine Learning** (ML), que **replica** el funcionamiento del sistema nervioso humano

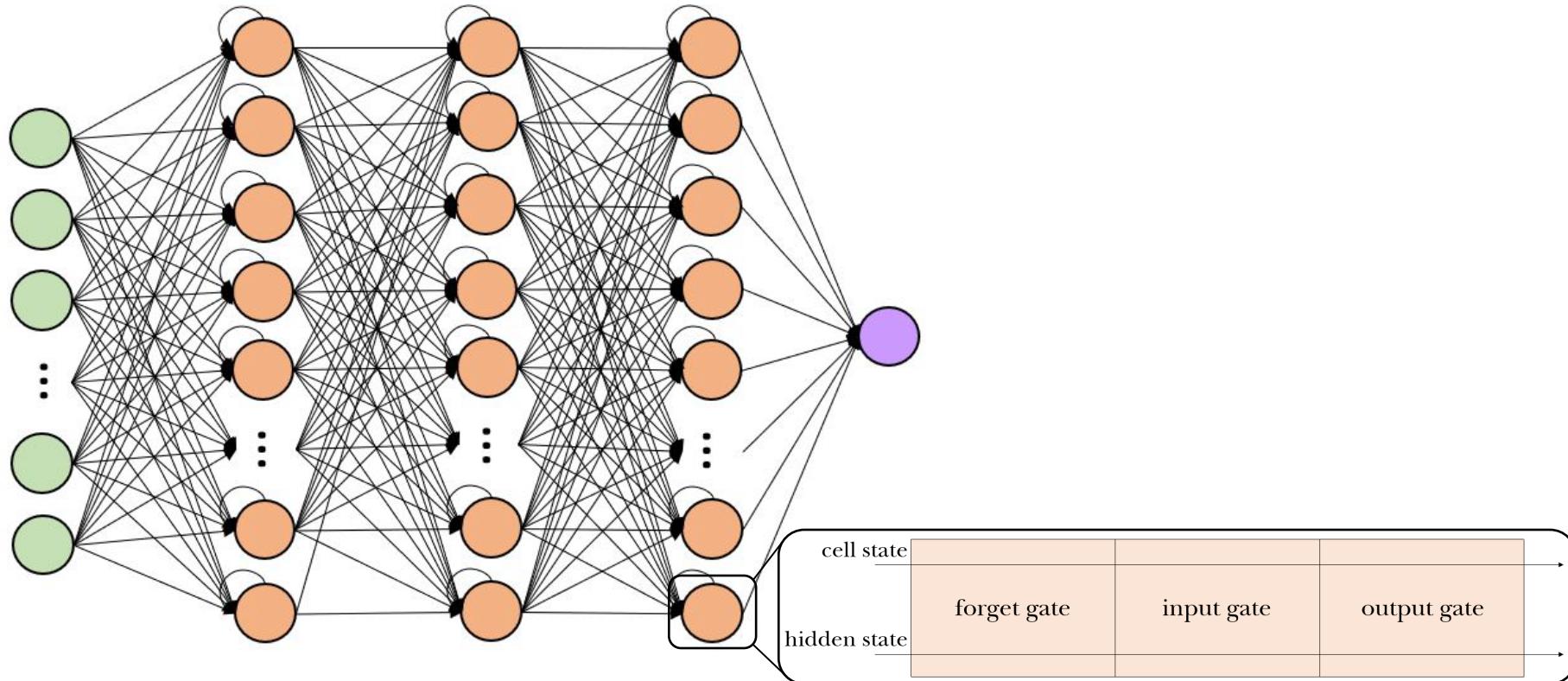


# REDES NEURONALES ARTIFICIALES



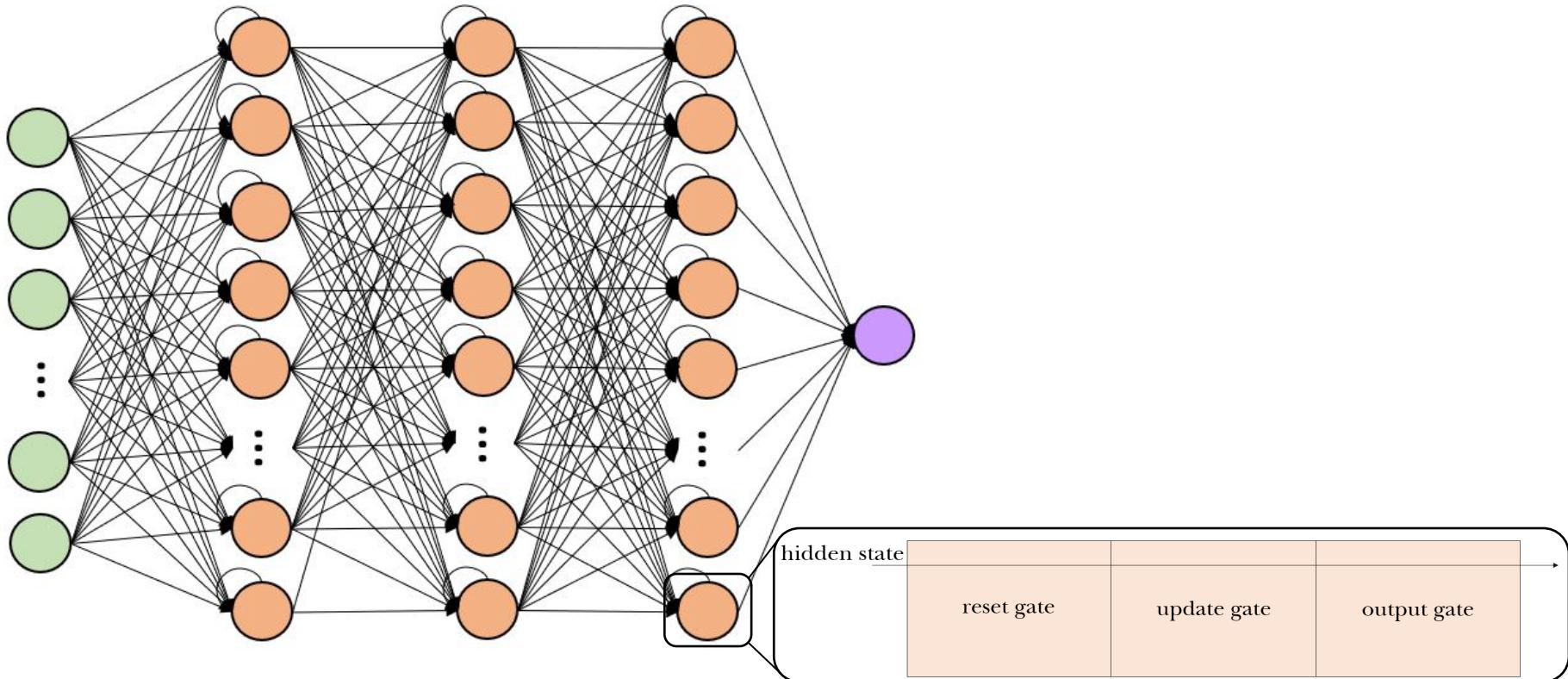
FUENTE: [https://keras.io/api/layers/core\\_layers/dense/](https://keras.io/api/layers/core_layers/dense/)

# LONG SHORT-TERM MEMORY



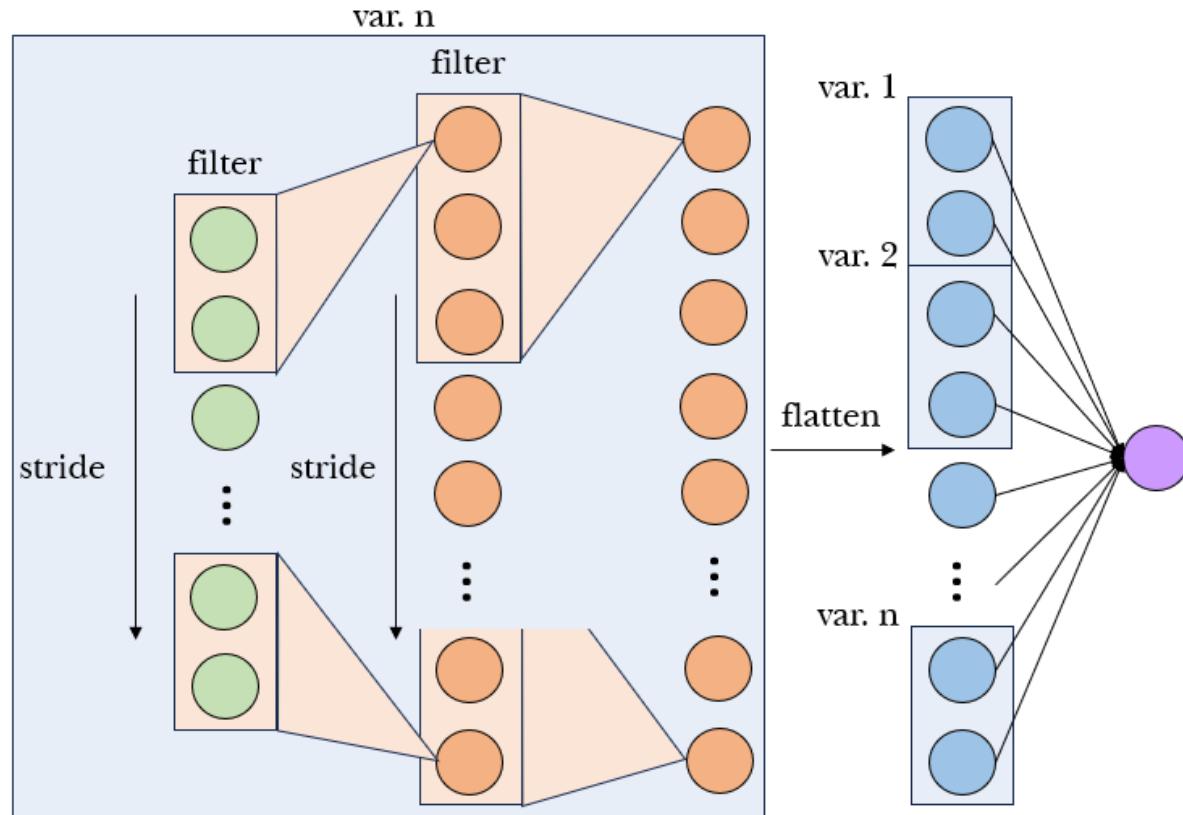
FUENTE: [https://keras.io/api/layers/recurrent\\_layers/lstm/](https://keras.io/api/layers/recurrent_layers/lstm/)

# GATERED RECURRENT UNIT



FUENTE: [https://keras.io/api/layers/recurrent\\_layers/gru/](https://keras.io/api/layers/recurrent_layers/gru/)

# REDES NEURONALES CONVOLUCIONALES



$$o = \frac{[i - k + 2p]}{s} + 1$$

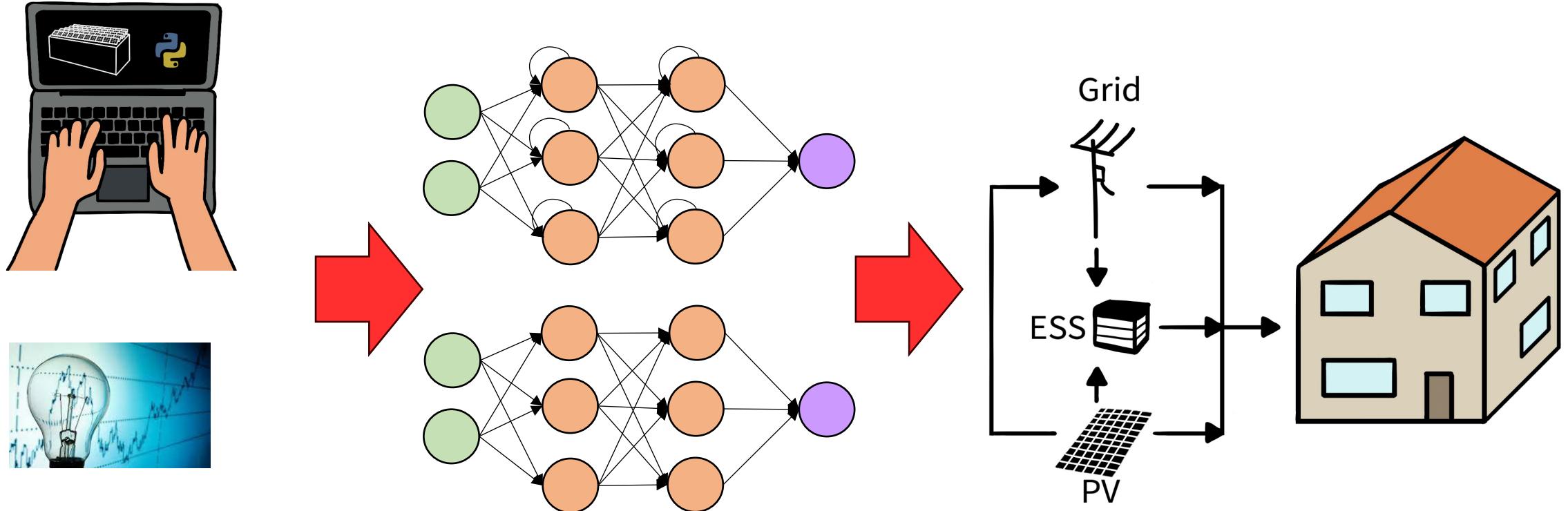
o output  
i input  
k kernel  
s stride  
p padding

FUENTE: [https://keras.io/api/layers/convolution\\_layers/convolution1d/](https://keras.io/api/layers/convolution_layers/convolution1d/)

# ¿CUÁLES SON LOS PASOS?

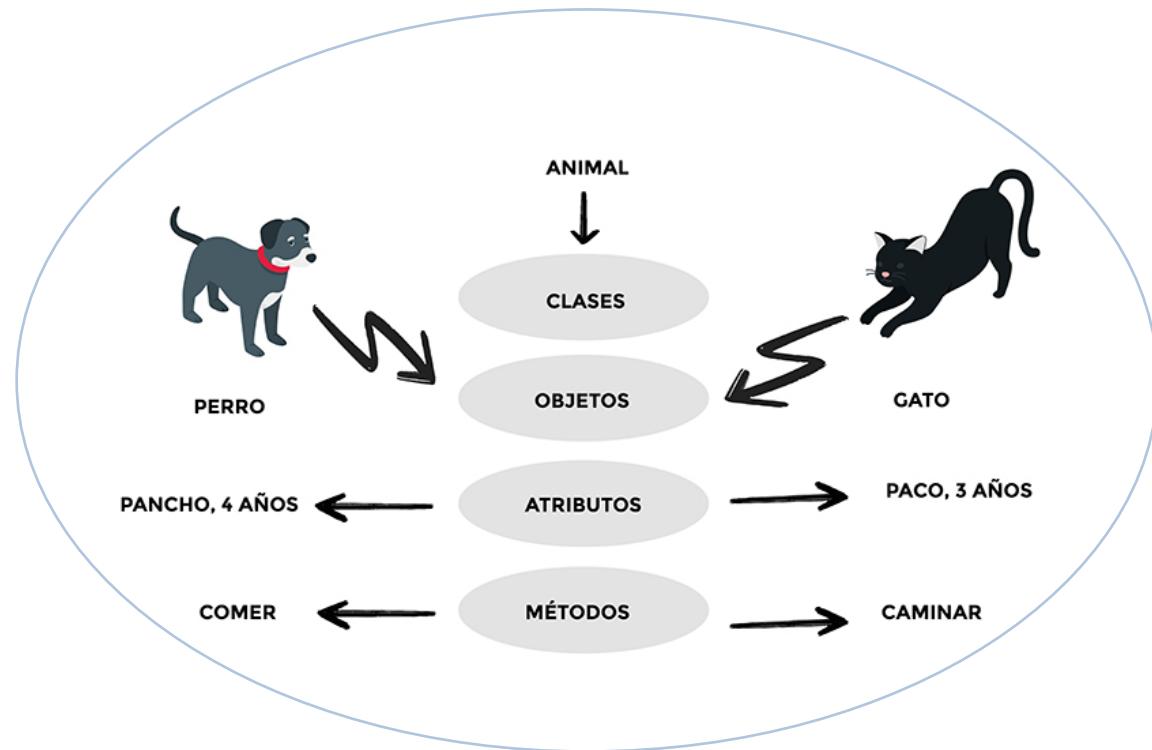
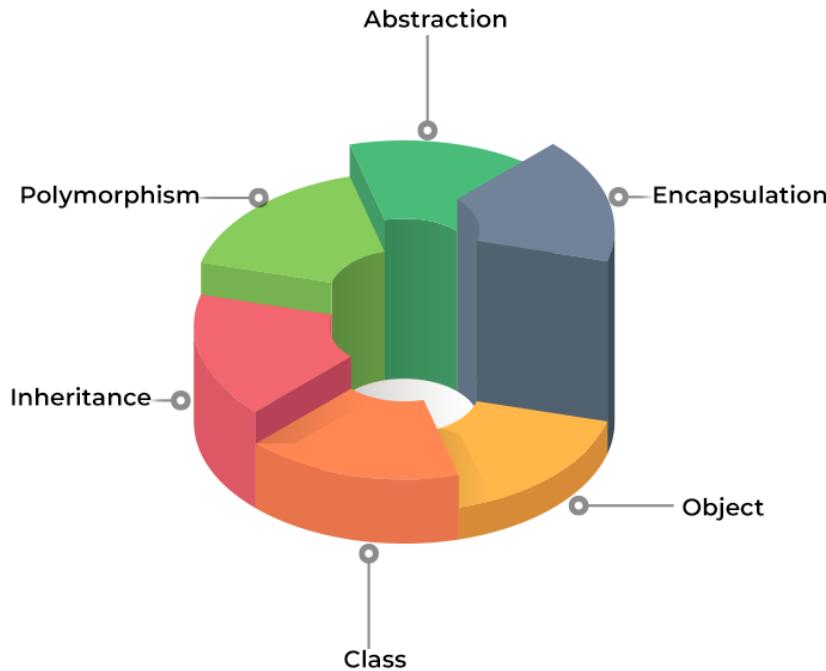


# ¿CÓMO PUEDO GESTIONAR EL RECURSO?



# ¿CÓMO DEFINO LOS ESCENARIOS?

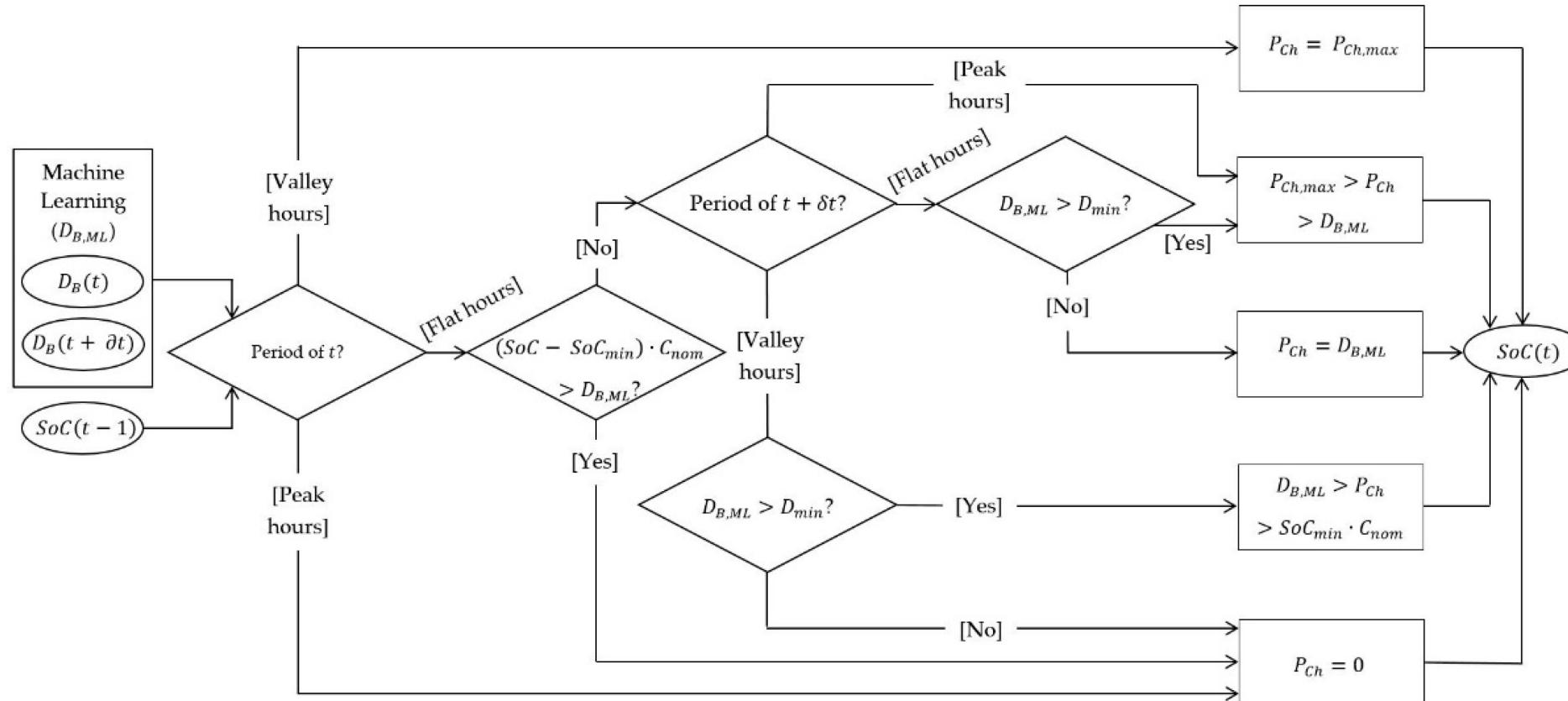
La programación orientada a objetos es el paradigma de programación que define las entrañas de los algoritmos de optimización



FUENTE: <https://www.spiceworks.com/tech/devops/articles/object-oriented-programming/>

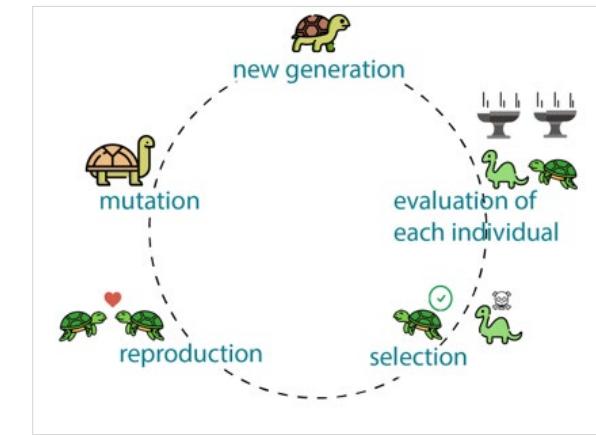
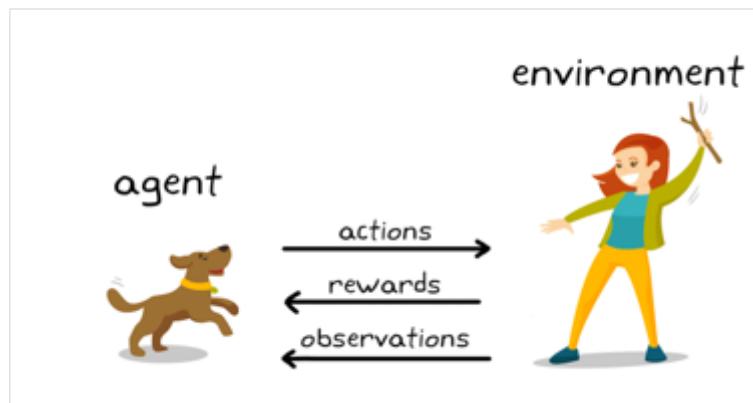
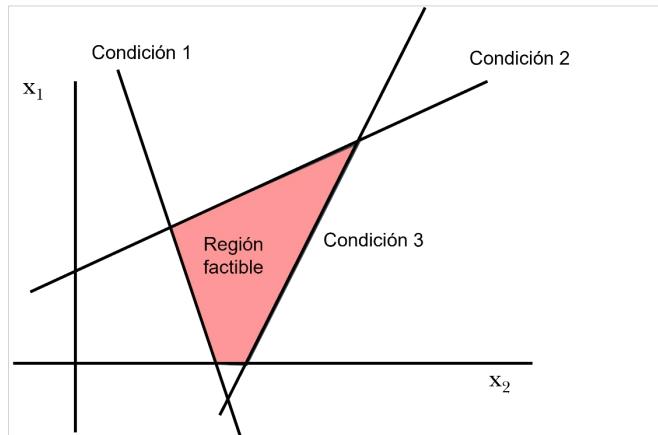
# ¿CÓMO DEFINO LOS ESCENARIOS?

Los **diagramas de flujo** describen la secuencia de pasos y decisiones que se deben tomar para resolver el problema



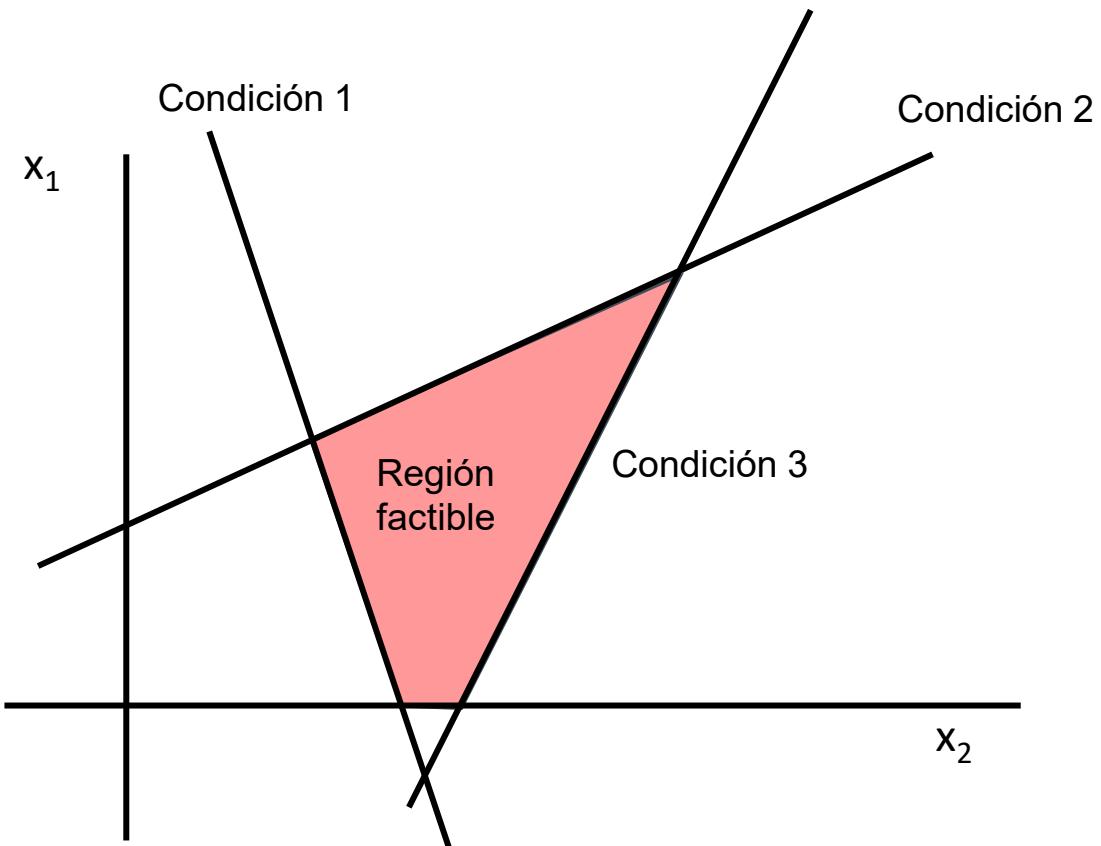
# ¿QUÉ ALGORITMOS DE OPTIMIZACIÓN PUEDO USAR?

Con los algoritmos de optimización se puede gestionar eficientemente el recurso energético



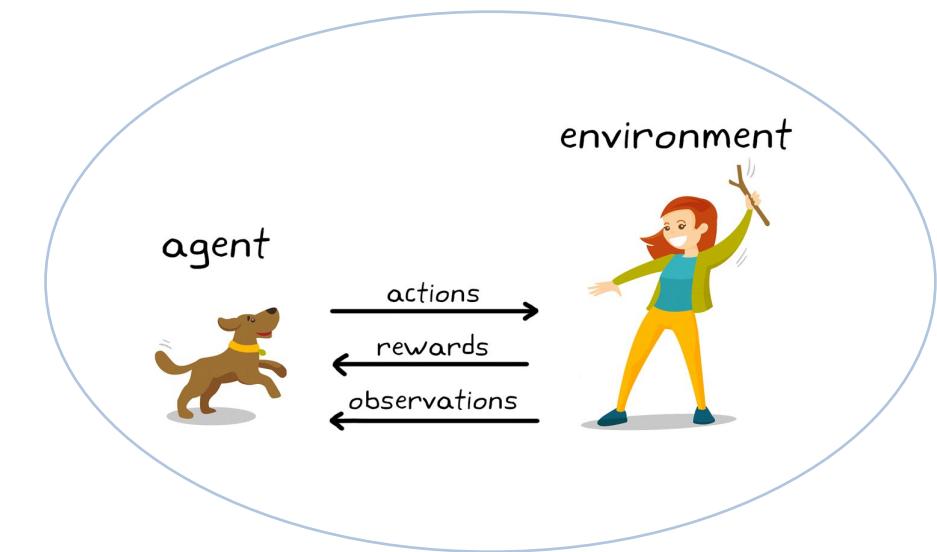
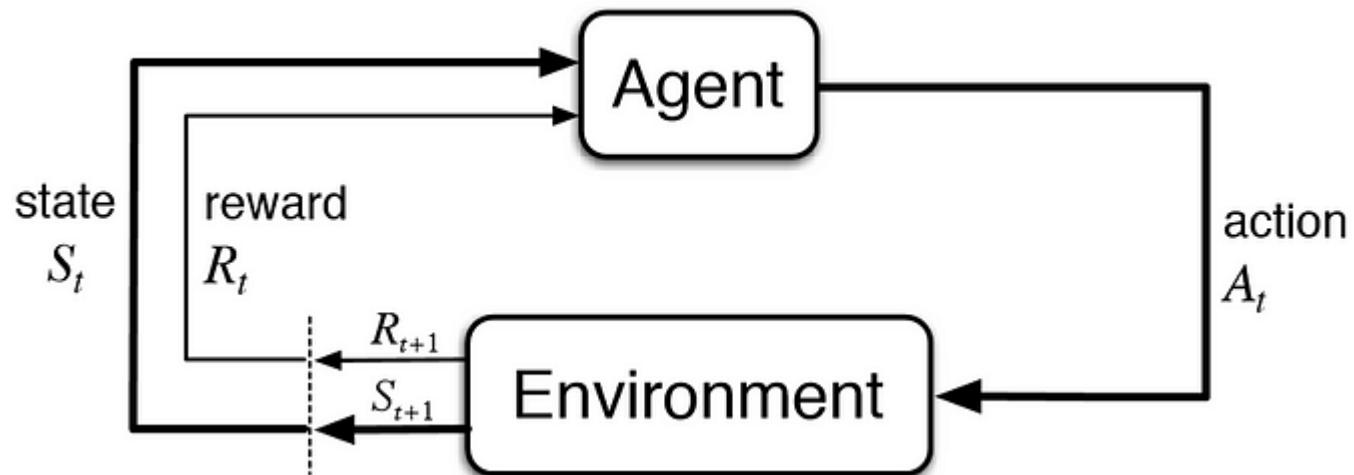
# MÉTODO DETERMINISTA

El método determinista gestiona el edificio con condiciones y restricciones establecidas precisas



# APRENDIZAJE POR REFUERZO

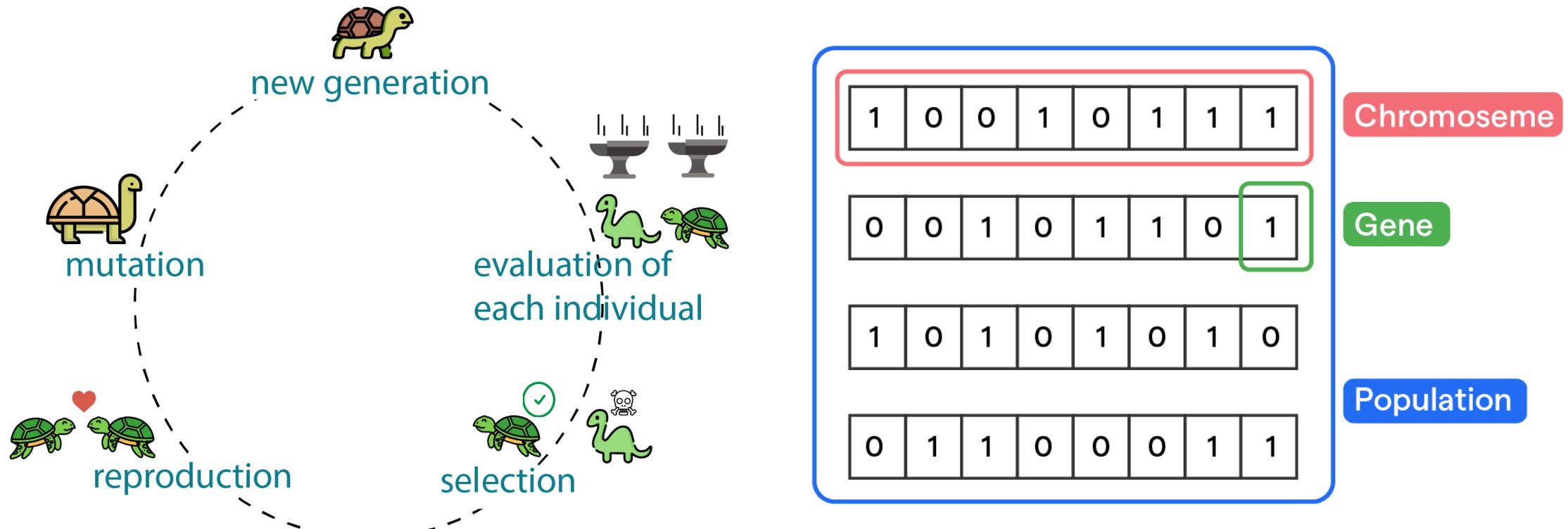
El **aprendizaje por refuerzo** es un paradigma del ML en el que un agente interactúa con el entorno para lograr la gestión



FUENTE: <https://keras-rl.readthedocs.io/en/latest/>

# ALGORITMO GENÉTICO

El *algoritmo genético* simula procesos que evolucionan y mutan para gestionar el sistema.



pymoo

FUENTE: <https://pymoo.org/>



Escola de Enxeñaría de  
Minas e Enerxía  
Universidade de Vigo



# INTELIGENCIA ARTIFICIAL: EFICIENCIA ENERGÉTICA EN LOS EDIFICIOS

Moisés Cordeiro Costas

[moises.cordeiro.costas@uvigo.gal](mailto:moises.cordeiro.costas@uvigo.gal)

IES Estelas de Cantabria, 13-14 marzo 2024