

# Proyecto Final: Online News Popularity

Aprendizaje Automático

Miguel Lentisco Ballesteros      Antonio Coín Castro

Curso 2019-20

## Índice

<b>1</b>	<b>Introducción</b>	<b>3</b>
<b>2</b>	<b>Base de datos y descripción del problema</b>	<b>3</b>
2.1	Análisis exploratorio de los datos . . . . .	4
2.2	Análisis de las variables . . . . .	5
<b>3</b>	<b>Conjuntos de entrenamiento, validación y <i>test</i></b>	<b>6</b>
<b>4</b>	<b>Lectura y preprocesado de datos</b>	<b>8</b>
<b>5</b>	<b>Métricas de error</b>	<b>9</b>
<b>6</b>	<b>Técnicas de regularización</b>	<b>9</b>
<b>7</b>	<b>Técnicas de selección de modelos</b>	<b>10</b>
<b>8</b>	<b>Ajuste de modelos</b>	<b>11</b>
8.1	Modelos lineales . . . . .	11
8.2	Random Forest (RF) . . . . .	14
8.3	Boosting . . . . .	16
8.4	Perceptrón multicapa (MLP) . . . . .	18
8.5	K-Nearest Neighbors (KNN) . . . . .	19
8.6	Redes de funciones de Base Radial (RBF) . . . . .	20
<b>9</b>	<b>Análisis de resultados</b>	<b>22</b>
<b>10</b>	<b>Conclusiones y estimación del error</b>	<b>25</b>
	<b>Anexo: Funcionamiento del código</b>	<b>25</b>



# 1. Introducción

En esta práctica perseguimos ajustar el mejor modelo dentro de una clase de modelos, para resolver un problema de clasificación binaria. Para ello seguiremos los siguientes pasos:

1. Analizaremos la bases de datos y entenderemos el contexto del problema a resolver.
2. Preprocesaremos los datos de forma adecuada para trabajar con ellos.
3. Elegiremos unas clases de hipótesis para resolver el problema.
4. Fijaremos algunos modelos concretos dentro de cada clase y seleccionaremos el mejor de cada una según algún criterio.
5. Compararemos los mejores modelos de cada clase y seleccionaremos el mejor de todos.
6. Estimaremos el error del modelo final.

Trabajamos en su mayoría con las funciones del paquete `scikit-learn`, apoyándonos cuando sea necesario en otras librerías como `numpy`, `matplotlib` ó `pandas`. El código de la práctica se ha estructurado en dos *scripts* de Python debidamente comentados:

- En `fit.py` se resuelve el problema de clasificación.
- En `visualization.py` se recogen todas las funciones de visualización de gráficas.

La ejecución del programa principal está preparada para que se muestren solo algunas gráficas además del procedimiento de ajuste del modelo (aquellas que consumen menos tiempo). Este comportamiento puede cambiarse mediante el parámetro `SHOW`, eliminando todas las gráficas (valor `Show.NONE`) o mostrándolas todas (valor `Show.ALL`). Además, en las operaciones de cálculo intensivo que lo permitan se utiliza el parámetro `n_jobs = -1` para paralelizar el flujo de trabajo en tantas hebras como se pueda. Por pantalla se muestra información sobre el tiempo de ejecución de los ajustes de los modelos y del programa completo.

Para que los experimentos sean reproducibles se fija una semilla aleatoria al inicio del programa. Todos los resultados y gráficas que se muestran a continuación se han obtenido con el valor 2020 para la semilla, y pueden reproducirse si se ejecuta el programa tal y como se proporciona.

# 2. Base de datos y descripción del problema

Para este problema trabajaremos con la base de datos *Online News Popularity*. Se trata de una recopilación de diferentes estadísticas sobre artículos publicados en el sitio web *mashable* por un período de dos años. El objetivo es predecir la popularidad de los artículos, cuantificada como el número de veces que se comparte cada artículo. Aunque este valor es continuo, tomamos un umbral a partir del cual consideramos que un artículo es popular. Los autores del *dataset* recomiendan en (Fernandes, Vinagre, & Cortez, 2015) fijar este valor a 1400, por lo que así lo hacemos nosotros.

Disponemos de un total de 58 atributos predictivos, todos de tipo numérico (entero o real), que se utilizan para codificar un artículo; por ejemplo, se miden el número de enlaces que contiene, el día de la semana en que se publicó ó el ratio de palabras positivas y negativas, entre otros. Como los atributos no se encuentran normalizados y son de distinto tipo, consideramos como espacio muestral el producto de cada uno de los espacios muestrales individuales, que variará según el atributo concreto:  $\mathcal{X} = \mathcal{X}_1 \times \dots \times \mathcal{X}_{58}$ . En general, los espacios muestrales

serán  $[0, 1]$ ,  $[-1, 0]$ ,  $\mathbb{R}^+$ ,  $\mathbb{N}$  ó  $\{0, 1\}$ . Como conjunto de etiquetas consideramos  $\mathcal{Y} = \{1, -1\}$ , que representará si un artículo es popular (se comparte más de 1400 veces) o no.

Como tenemos información sobre los valores que queremos predecir en los 39644 ejemplos disponibles, nos encontramos ante un problema de aprendizaje supervisado; en concreto, un problema de clasificación binaria. Queremos aprender o estimar una función  $f : \mathcal{X} \rightarrow \mathcal{Y}$  que asigne a cada artículo codificado como se ha explicado anteriormente una etiqueta que indique si será popular o no.

## 2.1. Análisis exploratorio de los datos

Comenzamos analizando la distribución de clases en nuestros datos. Disponemos de un total de 39644 ejemplos, y si fijamos el umbral de popularidad en 1400, el reparto de clases queda configurado como se aprecia en la Tabla 1.

Tabla 1: Distribución de ejemplos por cada clase.

Rango de popularidad	Número de ejemplos	Porcentaje
$< 1400$ (clase -1)	18490	46.6 %
$\geq 1400$ (clase 1)	21154	53.4 %

Como vemos se trata de un reparto más o menos balanceado de las clases, de forma que podemos emplear las técnicas de ajuste usuales sin preocuparnos por problemas de desbalanceo.

También podemos intentar visualizar el conjunto de datos en dos dimensiones, empleando para ello la técnica **TSNE** para visualizar datos de alta dimensión. Este algoritmo realiza una proyección en 2 dimensiones del conjunto de datos, minimizando una métrica estadística conocida como *divergencia de Kullback-Leibler*. En la Figura 1 se puede observar el resultado obtenido.

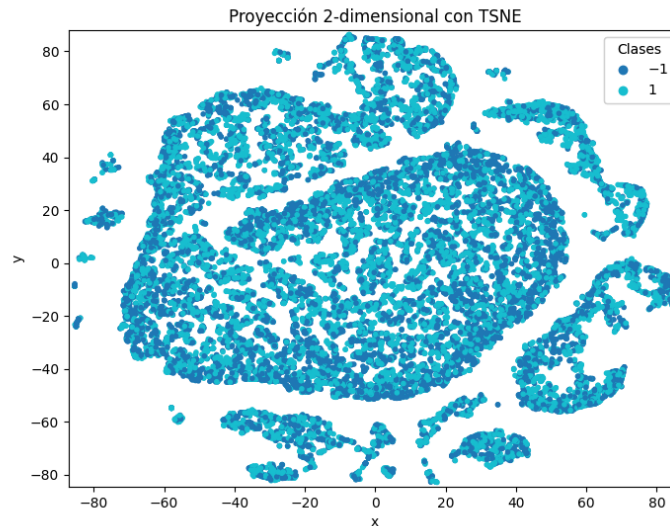


Figura 1: Proyección en 2 dimensiones con TSNE.

Vemos que no obtenemos demasiada información positiva. No se aprecian *clusters* diferenciados, lo que nos lleva a pensar que no vamos a obtener unos resultados excesivamente buenos

con los datos de los que disponemos. No nos sorprenderá si a priori no conseguimos una calidad muy alta, y tendremos que realizar ajustes finos de hiperparámetros y eventuales transformaciones del espacio de entrada para aumentar el rendimiento de los modelos.

## 2.2. Análisis de las variables

Mostramos a continuación un breve análisis de los predictores disponibles en la base de datos, recogido en la Tabla 2, en el que mostramos para cada atributo su nombre, los valores mínimo y máximo, la media y la desviación típica. Una explicación del significado de cada atributo puede consultarse en el archivo `OnlineNewsPopularity.names` que se proporciona junto a los datos.

Tabla 2: Resumen estadístico de las características.

Característica	Valor mínimo	Valor máximo	Media	STD
n_tokens_title	2.0000	23.0000	10.3987	2.1140
n_tokens_content	0.0000	8474.0000	546.5147	471.1016
n_unique_tokens	0.0000	701.0000	0.5482	3.5207
n_non_stop_words	0.0000	1042.0000	0.9965	5.2312
n_non_stop_unique_tokens	0.0000	650.0000	0.6892	3.2648
num_hrefs	0.0000	304.0000	10.8837	11.3319
num_self_hrefs	0.0000	116.0000	3.2936	3.8551
num_imgs	0.0000	128.0000	4.5441	8.3093
num_videos	0.0000	91.0000	1.2499	4.1078
average_token_length	0.0000	8.0415	4.5482	0.8444
num_keywords	1.0000	10.0000	7.2238	1.9091
data_channel_is_lifestyle	0.0000	1.0000	0.0529	0.2239
data_channel_is_entertainment	0.0000	1.0000	0.1780	0.3825
data_channel_is_bus	0.0000	1.0000	0.1579	0.3646
data_channel_is_socmed	0.0000	1.0000	0.0586	0.2349
data_channel_is_tech	0.0000	1.0000	0.1853	0.3885
data_channel_is_world	0.0000	1.0000	0.2126	0.4091
kw_min_min	-1.0000	377.0000	26.1068	69.6323
kw_max_min	0.0000	298400.0000	1153.9517	3857.9422
kw_avg_min	-1.0000	42827.8571	312.3670	620.7761
kw_min_max	0.0000	843300.0000	13612.3541	57985.2980
kw_max_max	0.0000	843300.0000	752324.0667	214499.4242
kw_avg_max	0.0000	843300.0000	259281.9381	135100.5433
kw_min_avg	-1.0000	3613.0398	1117.1466	1137.4426
kw_max_avg	0.0000	298400.0000	5657.2112	6098.7950
kw_avg_avg	0.0000	43567.6599	3135.8586	1318.1338
self_reference_min_shares	0.0000	843300.0000	3998.7554	19738.4216
self_reference_max_shares	0.0000	843300.0000	10329.2127	41027.0592
self_reference_avg_share	0.0000	843300.0000	6401.6976	24211.0269
weekday_is_monday	0.0000	1.0000	0.1680	0.3739
weekday_is_tuesday	0.0000	1.0000	0.1864	0.3894
weekday_is_wednesday	0.0000	1.0000	0.1875	0.3903

Característica	Valor mínimo	Valor máximo	Media	STD
weekday_is_thursday	0.0000	1.0000	0.1833	0.3869
weekday_is_friday	0.0000	1.0000	0.1438	0.3509
weekday_is_saturday	0.0000	1.0000	0.0619	0.2409
weekday_is_sunday	0.0000	1.0000	0.0690	0.2535
is_weekend	0.0000	1.0000	0.1309	0.3373
LDA_00	0.0000	0.9270	0.1846	0.2630
LDA_01	0.0000	0.9259	0.1413	0.2197
LDA_02	0.0000	0.9200	0.2163	0.2821
LDA_03	0.0000	0.9265	0.2238	0.2952
LDA_04	0.0000	0.9272	0.2340	0.2892
global_subjectivity	0.0000	1.0000	0.4434	0.1167
global_sentiment_polarity	-0.3937	0.7278	0.1193	0.0969
global_rate_positive_words	0.0000	0.1555	0.0396	0.0174
global_rate_negative_words	0.0000	0.1849	0.0166	0.0108
rate_positive_words	0.0000	1.0000	0.6822	0.1902
rate_negative_words	0.0000	1.0000	0.2879	0.1562
avg_positive_polarity	0.0000	1.0000	0.3538	0.1045
min_positive_polarity	0.0000	1.0000	0.0954	0.0713
max_positive_polarity	0.0000	1.0000	0.7567	0.2478
avg_negative_polarity	-1.0000	0.0000	-0.2595	0.1277
min_negative_polarity	-1.0000	0.0000	-0.5219	0.2903
max_negative_polarity	-1.0000	0.0000	-0.1075	0.0954
title_subjectivity	0.0000	1.0000	0.2824	0.3242
title_sentiment_polarity	-1.0000	1.0000	0.0714	0.2654
abs_title_subjectivity	0.0000	0.5000	0.3418	0.1888
abs_title_sentiment_polarity	0.0000	1.0000	0.1561	0.2263

Como ya comentábamos antes, cada variable tiene su propio rango de variación, por lo que será necesario posteriormente abordar este problema. En cuanto a la relevancia de las variables, hemos hecho un estudio basándonos en el criterio de importancia que otorga un modelo de Random Forest ajustado a los datos, obteniendo los resultados reflejados en la Figura 2.

A la luz de este análisis nos inclinamos por pensar que todas las variables son relevantes para la predicción en mayor o menor medida, excepto quizás la tercera. Sin embargo, el hecho de que sospechamos que vamos a necesitar toda la información disponible para alcanzar un buen poder de predicción, unido a que los autores se basaron en una serie de métodos y análisis para escoger estas características concretas y no otras, nos motivan a concluir que no tenemos motivos para dudar de la idoneidad de ninguna variable para la predicción.

### 3. Conjuntos de entrenamiento, validación y *test*

Como disponemos de una cantidad considerable de datos, se ha hecho una partición (usando la función `train_test_split`) de 20/50/30 % para los conjuntos validación, entrenamiento y *test*, respectivamente. Además, esta partición se realiza de forma estratificada para que se mantenga la distribución de clases, indicándolo con el parámetro `stratify`. Podemos observar en

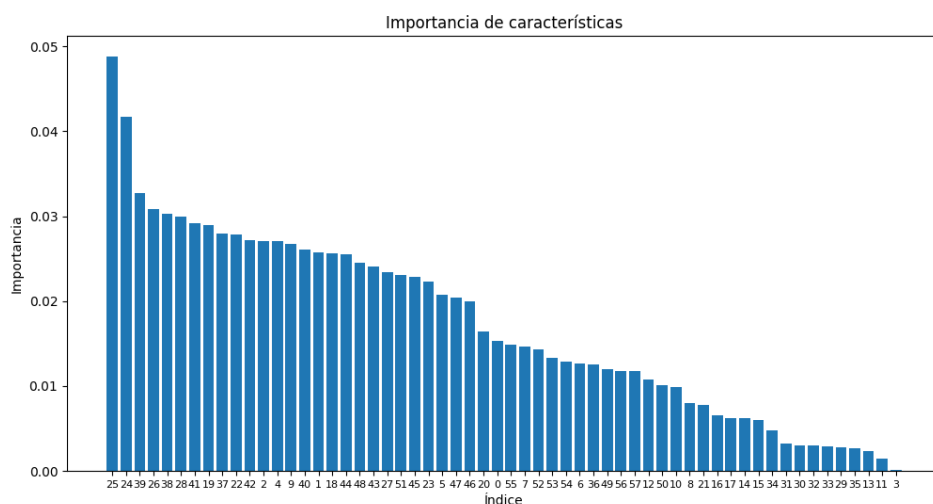


Figura 2: Importancia de características según criterio de Random Forest.

la Figura 3 cómo queda esta distribución en los conjuntos unidos de validación y entrenamiento, y en el conjunto de *test*.

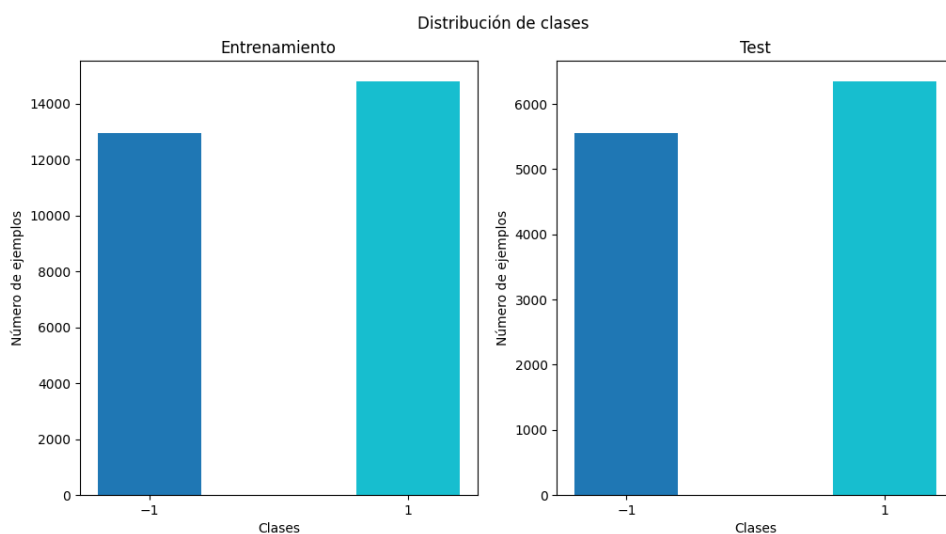


Figura 3: Distribución de clases en entrenamiento y *test*.

El conjunto de *test* se utilizará para evaluar y comparar los mejores modelos de cada clase, y no habrá sido usado en ninguna otra fase del ajuste. El papel que desempeñarán los conjuntos de entrenamiento y validación se describe con detalle en la sección [Técnicas de selección de modelos](#).

## 4. Lectura y preprocesado de datos

Para cargar los datos nos ayudamos de la librería `pandas` y su función `read_csv`, en la que podemos especificar las columnas concretas que queremos leer, si queremos incluir la cabecera o no, y algunos otros detalles como el separador usado. De esta forma no es necesario modificar el archivo original `OnlineNewsPopularity.csv`.

```
df = read_csv(
    filename, sep = ', ',
    engine = 'python', header = 0,
    usecols = [i for i in range(2, 62)],
    index_col = False,
    dtype = np.float64)
```

Aprovechamos también para transformar la columna a predecir (la última) en una variable discreta que tome únicamente los valores 1 y -1:

```
df.iloc[:, -1] = df.iloc[:, -1].apply(
    lambda x: -1.0 if x < CLASS_THRESHOLD else 1.0)
```

En el archivo de información del *dataset* nos dicen que no hay valores perdidos (también podemos comprobarlo con una llamada a `isnull().values.any()`), por lo que no es necesario realizar tratamiento alguno en este sentido. Tampoco es necesario codificar los datos de entrada para hacerlos útiles a los algoritmos, pues ya vienen expresados en valores numéricos.

Más atención merece el hecho de que los datos no se encuentran en la misma escala, lo que puede provocar problemas con algunos algoritmos (por ejemplo aquellos basados en distancias), y en general es beneficioso siempre normalizar los datos. Esto lo realizamos con la transformación `StandardScaler`, que modifica cada columna restándole su media y dividiendo por la desviación típica, de forma que los datos quedan con media 0 y desviación típica 1.

Además, añadimos previamente una transformación `VarianceThreshold` para eliminar variables con varianza 0 (que son constantes y no nos aportan información relevante para predecir). Aunque en nuestro conjunto inicial no hay variables constantes, la división en varios subconjuntos podría provocar que aparecieran, por lo que lo tenemos en cuenta.

Hay que tener presente que estas transformaciones (y cualquier otra) deben hacerse primero únicamente en el conjunto de entrenamiento, y a la hora de evaluar se tienen que hacer exactamente las mismas transformaciones (con mismos parámetros) en el conjunto donde se valide, para evitar caer en el fenómeno de *data snooping*. Es por esto que haremos uso de los *pipelines* de `sklearn`, que nos permiten aplicar las mismas transformaciones en varias fases de forma cómoda, además de encadenar varias. En concreto, el *pipeline* de preprocesado general quedaría como

```
preproc = Pipeline([
    ("var", VarianceThreshold()),
    ("standardize", StandardScaler())])
```



## 5. Métricas de error

Ya que las clases están prácticamente balanceadas, la métrica que usaremos será el *error de clasificación*, una medida simple pero efectiva del error cometido. Si denotamos los ejemplos de entrada a un clasificador  $h$  por  $(x_n, y_n)$ , podemos expresar el error como la fracción total de elementos mal clasificados:

$$E_{class}(h) = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \mathbb{I}[h(x_n) \neq y_n].$$

Sabemos que esta medida de error se encuentra en el intervalo  $[0, 1]$ , siendo 0 lo mejor posible y 1 lo peor. Se trata de una medida de fácil interpretación; podemos expresarla en porcentaje o invertirla, de forma que  $1 - E_{class}$  es lo que se conoce como el *accuracy* del modelo. Presentaremos los resultados utilizando esta última descripción ya que parece más ilustrativa.

Consideraremos además una métrica secundaria de error, también de uso muy extendido: el área bajo la curva ROC (AUC). Esta métrica que nos permite comparar el desempeño de los clasificadores en tanto que varía el umbral de clasificación (aquel valor a partir del cual se considera que un ejemplo pertenece a la clase positiva), proporcionando una medida del poder de discriminación que tiene el clasificador. Para computar esta métrica, se obtiene primero la curva ROC representando el ratio de verdaderos positivos frente al ratio de falsos positivos, para todos los posibles umbrales de clasificación, y finalmente se toma el área bajo esta curva. Esta métrica está también en  $[0, 1]$ , y será mejor cuanto más alta sea.

Todos los clasificadores empleados tienen internamente una función que asigna un valor numérico a cada punto para cada clase, ya sean probabilidades (`predict_proba`) u otros valores propios de cada clasificador (`decision_function`). Son estas funciones las que se emplean en el cálculo de la métrica AUC, materializado mediante una llamada a la función `roc_auc_score`.

Disponemos de una función `print_evaluation_metrics` que imprime el valor de estas dos métricas para un clasificador y unos conjuntos de datos.

## 6. Técnicas de regularización

El uso de la regularización es esencial para limitar la complejidad de los modelos y evitar el *overfitting*, cosa que nos permitirá obtener una mejor capacidad de generalización. Consideramos las siguientes regularizaciones, que aplicaremos según el modelo que estemos ajustando:

- **Regularización L2 (Ridge):** se añade una penalización a la función de pérdida que es cuadrática en los pesos,

$$L_{reg}(w) = L(w) + \lambda \|w\|_2^2.$$

- **Profundidad máxima:** se restringe la profundidad máxima de cada árbol de decisión a un valor  $\lambda$ .
- **Poda de coste-complejidad minimal:** se hace poda en las ramas de cada árbol de decisión de forma que se minimice la función de coste

$$R_\lambda(T) = R(T) + \lambda |T|,$$

siendo  $R(T)$  el ratio mal clasificado en las hojas y  $|T|$  el número de nodos hoja.

El valor de  $\lambda > 0$  es un hiperparámetro del modelo, que controla la intensidad de la regularización. Encontrar un valor adecuado es una tarea complicada, pues según varíe podríamos tener sobreajuste o caer en el fenómeno opuesto: tener *underfitting* porque el modelo sea poco flexible y no consiga ajustar bien los datos de entrenamiento.

En la sección **Ajuste de modelos** comentaremos para cada modelo concreto la regularización utilizada junto con los argumentos que justifican la decisión.

## 7. Técnicas de selección de modelos

Para elegir el mejor modelo dentro de una clase concreta hemos considerado usar la técnica de *K-fold cross validation*. Esta técnica se basa en dividir el conjunto de entrenamiento en  $K$  conjuntos de igual tamaño, y va iterando sobre ellos de forma que en cada paso entrena los modelos en los datos pertenecientes a  $K - 1$  de los conjuntos, y los evalúa en el conjunto restante. Finalmente se realiza la media del error a lo largo de todos los mini-conjuntos de validación y se escoge el modelo con menor error. Este error se conoce como *error de cross-validation*, denotado  $E_{cv}$ , y sabemos que es un buen estimador del error fuera de la muestra, por lo que tiene sentido utilizarlo para estimar la calidad del ajuste y decidir entre varias configuraciones distintas. Hemos optado por esta técnica frente a otras, además de por su probada eficacia e idoneidad para problemas como el nuestro, porque de esta manera no tenemos que reservar un nuevo conjunto para ir validando cada configuración de hiperparámetros, aprovechando mejor los datos de los que disponemos.

En cada clase de modelos consideraremos uno o varios tipos de clasificadores (por ejemplo, en los clasificadores *boosting* podemos considerar AdaBoost y GradientBoosting), y para todos realizaremos una búsqueda en el espacio de hiperparámetros para encontrar los que mejor se ajustan a nuestro problema. Es aquí donde entra en juego el conjunto de validación que separamos, pues dividimos este proceso en dos partes:

1. En primer lugar se realiza un preanálisis en el conjunto de validación para hacer una estimación del espacio de búsqueda óptimo de los hiperparámetros de cada modelo, permitiéndonos hacer una búsqueda más grande y rápida que usando todo el *dataset* completo. En general restringimos este análisis a uno o dos parámetros en cada modelo, los que se consideran que tienen más relevancia y/o un espacio de búsqueda que en principio no podemos restringir demasiado.
2. Basándonos en los resultados obtenidos en el paso anterior, configuramos el espacio de búsqueda para los modelos en un entorno reducido de los que se consideran óptimos (no los fijamos porque al entrenar con más datos puede haber fluctuaciones que hagan que otros sean mejores). Aplicamos de nuevo la técnica de *grid search*, esta vez en el conjunto de entrenamiento, y fijamos el modelo que menor error de *cross-validation* tenga como el mejor de su clase.

Una vez obtenido el mejor modelo, **lo reentrenamos con todos los datos de entrenamiento y validación**, para aprovechar todos los datos de los que disponemos e intentar mejorar la calidad del ajuste. Es importante notar que siguiendo este procedimiento estamos obteniendo a la vez el mejor modelo con los mejores parámetros.

Para todo este proceso es clave la función `GridSearchCV`, la cual puede recibir un *pipeline* como estimador y una lista de diccionarios que represente el espacio de hiperparámetros. Para

evitar el fenómeno de *data snooping* que podría contaminar los conjuntos de validación, todo el cauce de preprocesado y selección de modelos se realiza de principio a fin: fijamos al principio las divisiones en  $K$  folds y las utilizamos en todo el proceso. Estas divisiones serán en particular instancias de `StratifiedKFold`, que respeta la distribución de clases en las divisiones. También consideramos la función `RandomizedSearchCV`, que funciona de forma similar pero permite que le pasemos los parámetros como distribuciones de las que va extrayendo muestras. De esta forma podemos considerar un espacio continuo de parámetros y especificar el número de muestras a extraer, eliminando la necesidad de discretizar manualmente el espacio si no tenemos información sobre cómo hacerlo.

En la sección **Ajuste de modelos** veremos cómo se especifica en el código el espacio de parámetros y el procedimiento de ajuste.

## 8. Ajuste de modelos

Pasamos ahora a describir las clases de modelos que se ajustan, detallando dentro de cada una el procedimiento de ajuste y la justificación de los pasos seguidos. La métrica usada para decidir el mejor modelo será, de forma natural, el *accuracy* medio en los conjuntos de validación. Fijamos el valor de  $K$  en 5 para la etapa de *cross-validation*, pues se trata de un valor no demasiado elevado que no dispara el tiempo de entrenamiento, pero lo suficiente como para conseguir unos resultados confiables.

### 8.1. Modelos lineales

Hemos considerado L2 para los modelos lineales ya que queremos generalizarlos para bajar la varianza en pos de extraer un mayor valor de la métrica, a costa de no rebajar el tiempo de computación (reduciendo variables con L1), pero no nos importa puesto que el tiempo de entrenamiento es razonable y preferimos aumentar el acierto.

TODO poner matriz de correlación. hablar de pca + poly. COMENTAR QUE SE HA HECHO SIN RPEPROCESADO Y SALE PEOR; DECIR POR QUE HACEMO AUMENTO. COMENTAR CLASE DE FUNCIONES. TODO nº iteraciones

#### Regresión Logística

En primer lugar consideramos un modelo de regresión logística, implementado en el objeto `LogisticRegression`, usando regularización L2. El parámetro de regularización, cuyo inverso es lo que en el código se alude como  $C$ , viene dado por el preanálisis, considerando 40 puntos en el espacio logarítmico  $[-5, 1]$  para el preanálisis.

```
{"clf": [LogisticRegression(penalty = 'l2',
                             random_state = SEED,
                             max_iter = max_iter)],
 "clf__C": np.logspace(-5, 1, 40)}
```

En este caso, la técnica de optimización es la que viene por defecto, que se conoce como **LBFGS**. Se trata de un algoritmo iterativo similar al método de Newton para optimización, pero que utiliza una aproximación de la inversa de la matriz Hessiana. Se ha elegido porque tiene

un tiempo de ejecución asumible y los resultados suelen ser buenos. La función a optimizar es la pérdida logarítmica:

$$L_{\log}(w) = \frac{1}{N} \sum_{n=1}^N \log(1 + e^{-y_n w^T x_n}),$$

a la que se añade el término de penalización L2. Debemos tener en cuenta que aunque el algoritmo optimice esta función para proporcionar un resultado, la métrica de error que nosotros estamos usando es el accuracy y no el error logarítmico.

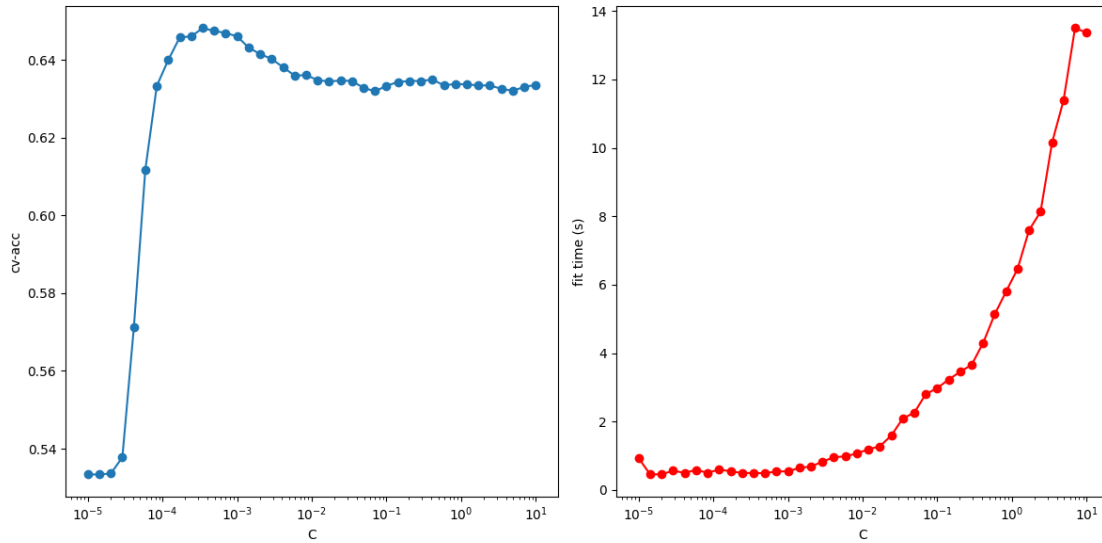


Figura 4: acc-cv/tiempo según C en LogisticRegression.

El resultado del preanálisis de 4 nos indica que desde el orden de  $10^{-4}$  en adelante, los resultados son igual de buenos, alcanzando un máximo entre  $10^{-4}$  y  $10^{-3}$ . Por tanto restringimos C al espacio logarítmico  $[-4, 0]$ , quedando:

```
{"clf": [LogisticRegression(penalty = 'l2',
                             random_state = SEED,
                             max_iter = max_iter)],
 "clf__C": np.logspace(-4, 0, 9)}
```

## Regresión lineal

Consideramos también un modelo de regresión lineal. Utilizamos un objeto `RidgeClassifier`, que fija implícitamente la regularización L2. En este caso, la constante de regularización se llama alpha, considerando el espacio de búsqueda como 40 puntos en el espacio logarítmico  $[-5, 5]$ .

```
{"clf": [RidgeClassifier(random_state = SEED,
                          max_iter = max_iter)],
 "clf__alpha": np.logspace(-5, 5, 40)}
```

En este caso se pretende minimizar el error cuadrático de regresión (añadiendo regularización L2):

$$L_{lin}(w) = \frac{1}{N} \sum_{n=1}^N (y_n - w^T x_n)^2.$$

Para ello se utiliza la técnica de la Pseudoinversa basada en la descomposición SVD de la matriz de datos, obteniendo una solución en forma cerrada y sin seguir un procedimiento iterativo. Se ha elegido esta técnica en lugar de SGD porque el tiempo de ejecución es más reducido y las soluciones obtenidas son suficientemente buenas.

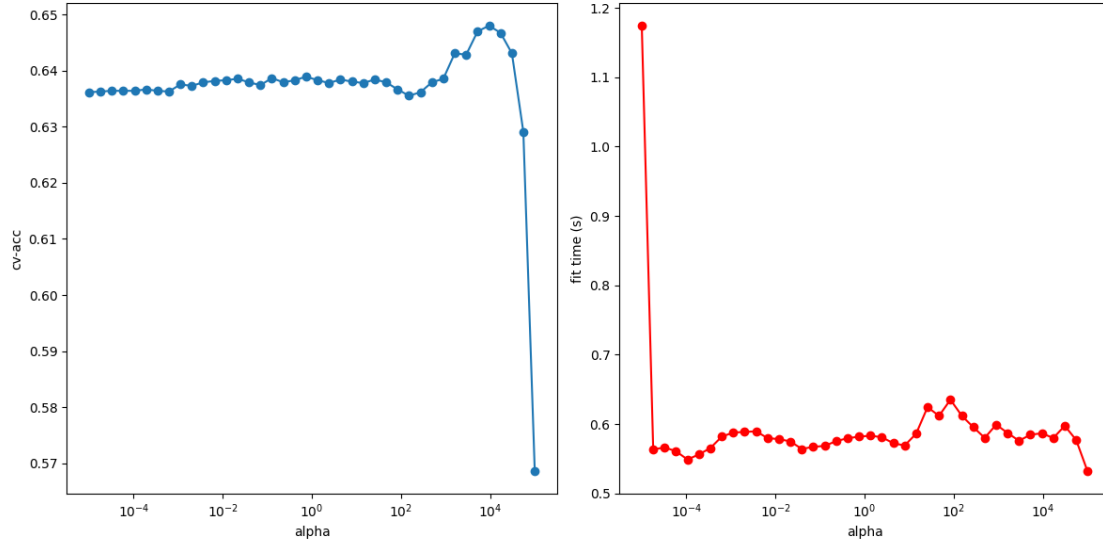


Figura 5: acc-cv/tiempo según alpha en RidgeClassifier.

El resultado del preanálisis de 5 nos arroja un máximo cerca de  $10^4$ , por lo que restringimos el espacio de búsqueda al espacio logarítmico  $[0, 5]$ :

```
{"clf": [RidgeClassifier(random_state = SEED,
                        max_iter = max_iter)],
 "clf__alpha": np.logspace(0, 5, 9)}
```

## SVM Lineal

Finalmente en modelos lineales, consideramos las máquinas de soporte vectorial (SVM) lineales (sin usar kernel) utilizando el objeto `SGDClassifier` con regularización L2, y tomando alpha con 40 puntos en el espacio logarítmico  $[-6, 2]$ .

```
{"clf": [SGDClassifier(random_state = SEED,
                    penalty = 'l2',
                    max_iter = max_iter)],
 "clf__alpha": np.logspace(-6, 2, 40)}
```

La técnica usada es SGD, de manera que minimizamos el error hinge junto con la regularización L2:

$$L_{svm}(w) = \frac{1}{N} \max(0, 1 - y_i f(x_i))$$

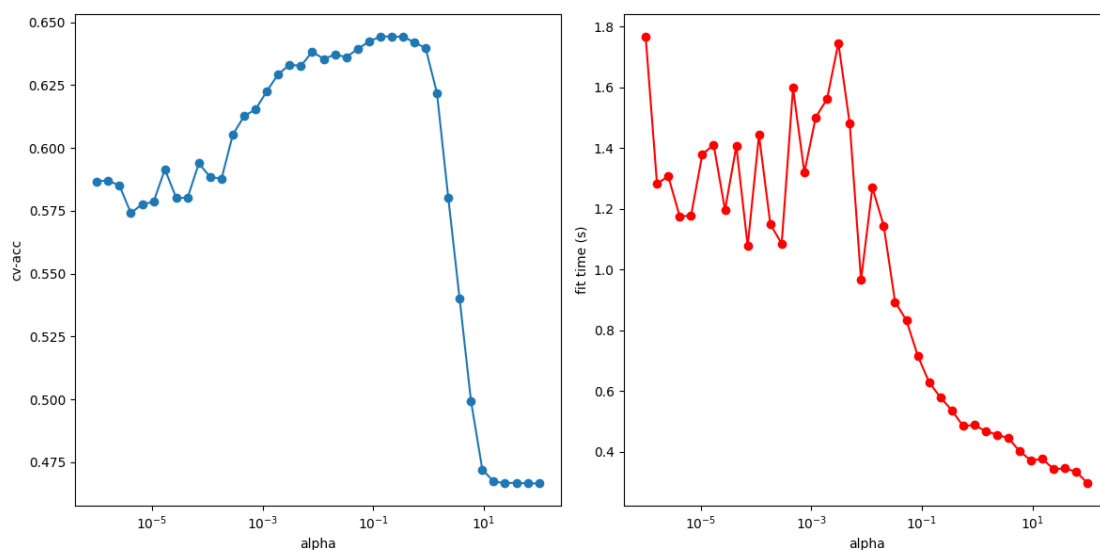


Figura 6: acc-cv/tiempo según alpha en SGDClassifier.

Los resultados del preanálisis en 6 nos indican un máximo cerca de  $10^{-1}$  y 1, por lo que restringimos al espacio logarítmico  $[-5, 1]$ :

```
{"clf": [SGDClassifier(random_state = SEED,
                        penalty = 'l2',
                        max_iter = max_iter,
                        eta0 = 0.1)],
 "clf__learning_rate": ['optimal', 'invscaling', 'adaptive'],
 "clf__alpha": np.logspace(-5, 1, 7)}
```

También hemos considerado como hiperparámetro adicional el tipo de tasa de aprendizaje, fijando la inicial (eta0) como 0.1: optimal (tasa escogida por heurística), adaptive (inicial, y decrementa cuando el error no decrementa) y invscaling (inicial, y decrementa dividiendo por la raíz del nº de iteraciones).

## 8.2. Random Forest (RF)

En el caso de los árboles de decisión (Random Forest) queríamos bajar la alta varianza que tienen los árboles, consiguiendo también una mejoría del tiempo de entrenamiento.

Consideramos primero Random Forest mediante el objeto RandomForest, fijando el nº de características de cada árbol a  $\sqrt{n_{\text{caract}}}$  (usando la regla a ojo) y el criterio gini para decidir las divisiones del árbol.

Consideramos como hiperparámetros el nº de árboles n\_estimators y la profundidad máxima de cada árbol max\_depth (regularización) e inicialmente tenemos el siguiente espacio:

```
{"clf": [RandomForestClassifier(random_state = SEED)],
 "clf__max_depth": [5, 10, 15, 20, 30, 40, 58],
 "clf__n_estimators": [100, 200, 300, 400, 500, 600]}
```

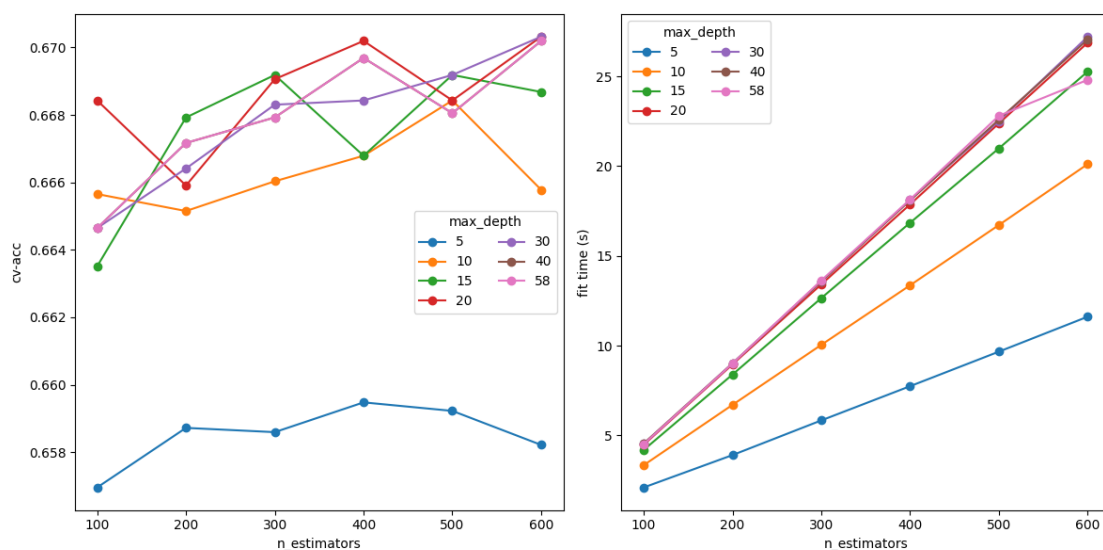


Figura 7: acc-cv/tiempo según  $n\_estimators$  y  $max\_depth$  en RandomForest.

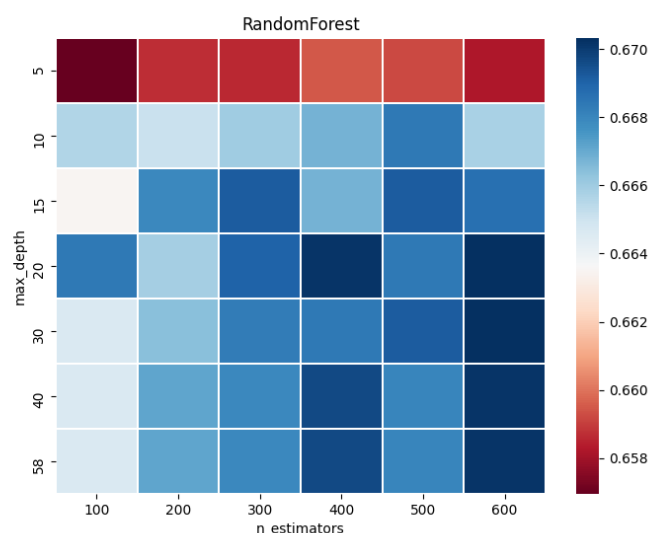


Figura 8: Mapa de calor según  $n\_estimators$  y  $max\_depth$  en RandomForest.

El preanálisis 7, 8 nos muestra que en general expectuando la profundidad máxima 5, el resto de configuraciones son casi igual de buenas (diferencias de centésimas), destacando profundidad máxima 20 con 400 árboles y profundidad máxima  $\geq 20$  con 600 árboles.

Sabemos que al aumentar el nº de árboles conseguimos reducir el término de la varianza aunque a coste de incrementar el tiempo de computación; que en este caso no nos importa pagar el precio. Además, como conforme aumenta la profundidad de los árboles conseguimos menos error pero más varianza y para la profundidad máxima 20 obtenemos de los mejores resultados optamos por este valor (menor varianza cuanto menor profundidad).

Finalmente la configuración de hiperparámetros quedaría:

```
{"clf": [RandomForestClassifier(random_state = SEED,
```

```

max_depth = 20]],
"clf__n_estimators": [400, 600],
"clf__ccp_alpha": [0.0, 1e-4, 5e-4, 1e-3, 5e-3, 1e-2]}

```

Hemos añadido el hiperparámetro `cc_alpha` que se usa para la poda de mínimo coste computacional, para experimentar con más regularización.

## 8.3. Boosting

### AdaBoost

Hiperparámetros AdaBoost:

```

{"clf": [AdaBoostClassifier(random_state = SEED,
                             base_estimator = DecisionTreeClassifier())],
"clf__base_estimator__max_depth": [1, 2, 3, 4, 5],
"clf__n_estimators": [100, 200, 300, 400, 500]}

```

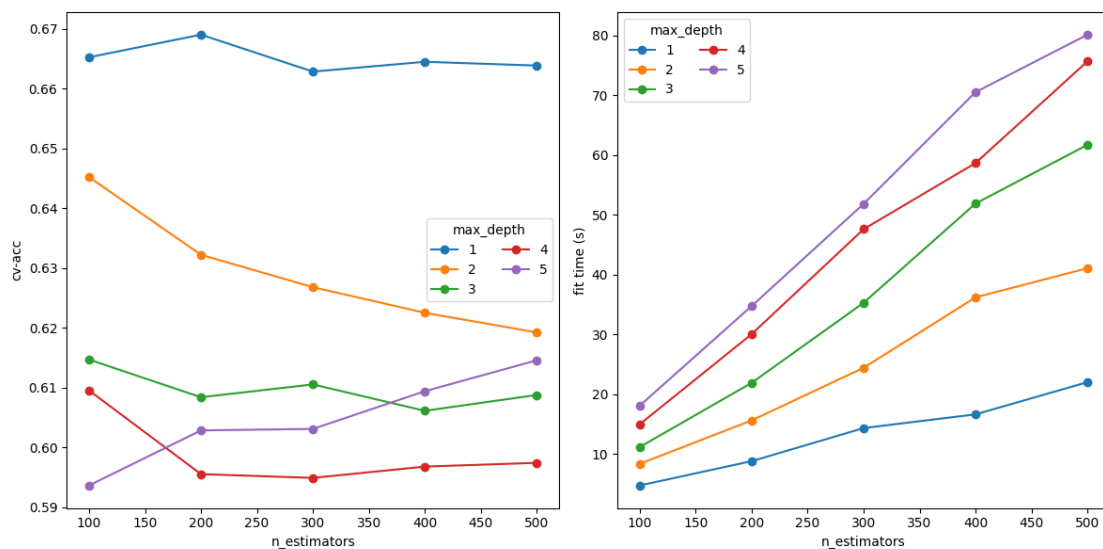


Figura 9: acc-cv/tiempo según `n_estimators` y `max_depth` en AdaBoost.

Resultados preanálisis 9 y 10

Espacio final:

```

{"clf": [AdaBoostClassifier(random_state = SEED)],
"clf__n_estimators": [175, 200, 225],
"clf__learning_rate": [0.5, 1.0]}

```

### Gradient Boosting

Hiperparámetros Gradient Boosting:



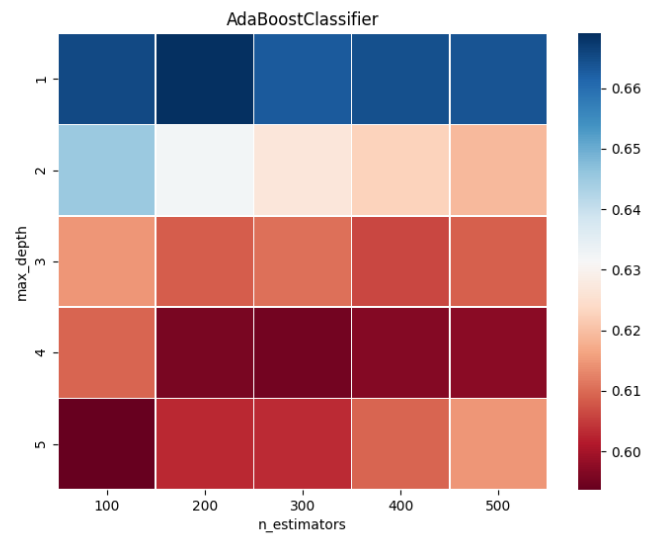


Figura 10: Mapa de calor según `n_estimators` y `max_depth` en AdaBoost.

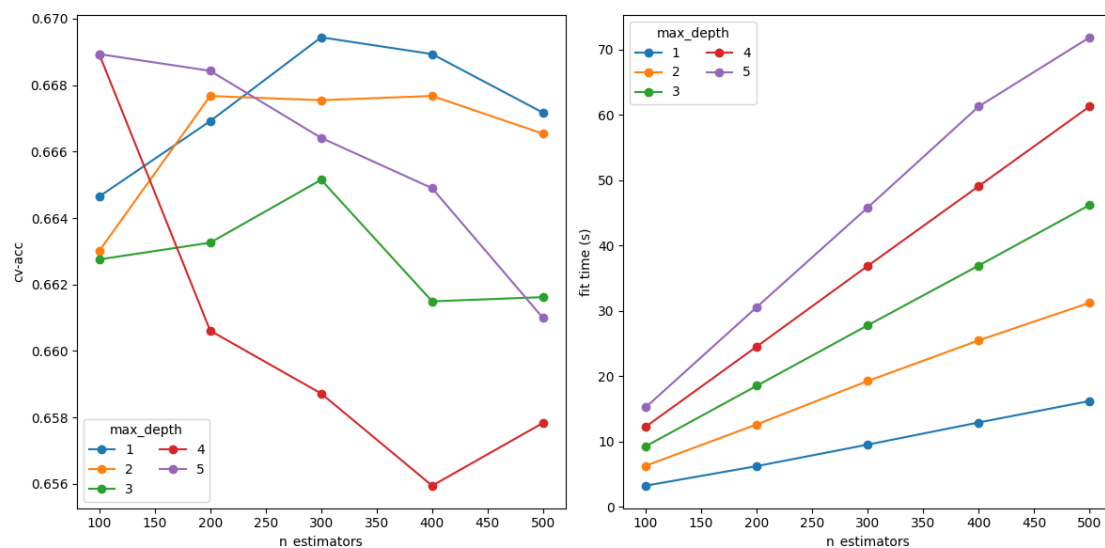


Figura 11: acc-cv/tiempo según `n_estimators` y `max_depth` en GradientBoosting.

```
{
  "clf": [GradientBoostingClassifier(random_state = SEED)],
  "clf__max_depth": [1, 2, 3, 4, 5],
  "clf__n_estimators": [100, 200, 300, 400, 500]}

```

Resultados preanálisis 11 y 12

Configuración final:

```
{
  "clf": [GradientBoostingClassifier(random_state = SEED,
                                     n_estimators = 100)],
  "clf__learning_rate": [0.05, 0.1, 1.0],
  "clf__subsample": [1.0, 0.75],

```

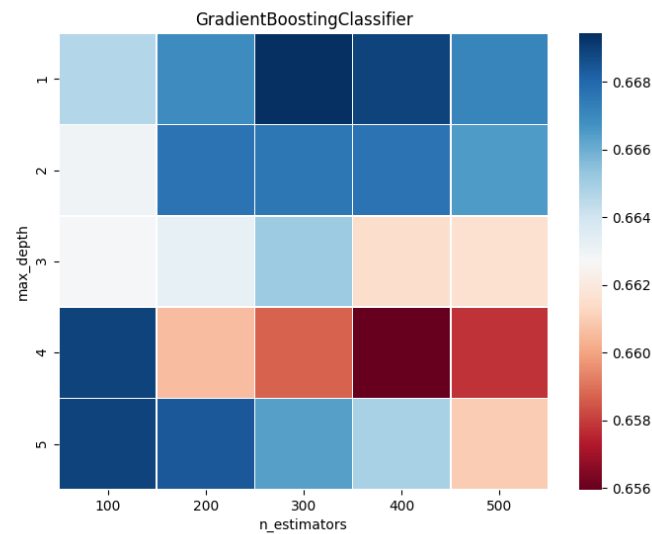


Figura 12: Mapa de calor según `n_estimators` y `max_depth` en GradientBoosting.

```
"clf__max_depth": [4, 5]},
{"clf": [GradientBoostingClassifier(random_state = SEED,
                                     n_estimators = 300)],

"clf__learning_rate": [0.05, 0.1, 1.0],
"clf__subsample": [1.0, 0.75],
"clf__max_depth": [1, 2]}
```

## 8.4. Perceptrón multicapa (MLP)

Perceptrón multicapa con 3 capas (2 ocultas y la de salida) con el objeto `MLPClassifier` con los siguientes parámetros fijados: `learning_rate_init = 0.01` (tasa de aprendizaje inicial), `solver = sgd` (ajuste con SGD), `max_iter = 300` (nº máximo de iteraciones), `learning_rate = 'adaptive'` (decrementa la tasa de aprendizaje cuando no baja el error), `activation = relu` (función de activación ReLU) y `tol = 1e-3` (tolerancia para la convergencia).

Dejamos como hiperparámetro el nº de neuronas en las capas ocultas `hidden_layer_sizes`, tomando el mismo tamaño para ambas capas y haciendo una búsqueda aleatoria en el rango `[50, 101]`:

```
{"clf": [MLPClassifier(random_state = SEED,
                       learning_rate_init = 0.01,
                       solver = 'sgd',
                       max_iter = 300,
                       learning_rate = 'adaptive',
                       activation = 'relu',
                       tol = 1e-3)],
"clf__hidden_layer_sizes": multi_randint(50, 101, 2)}
```

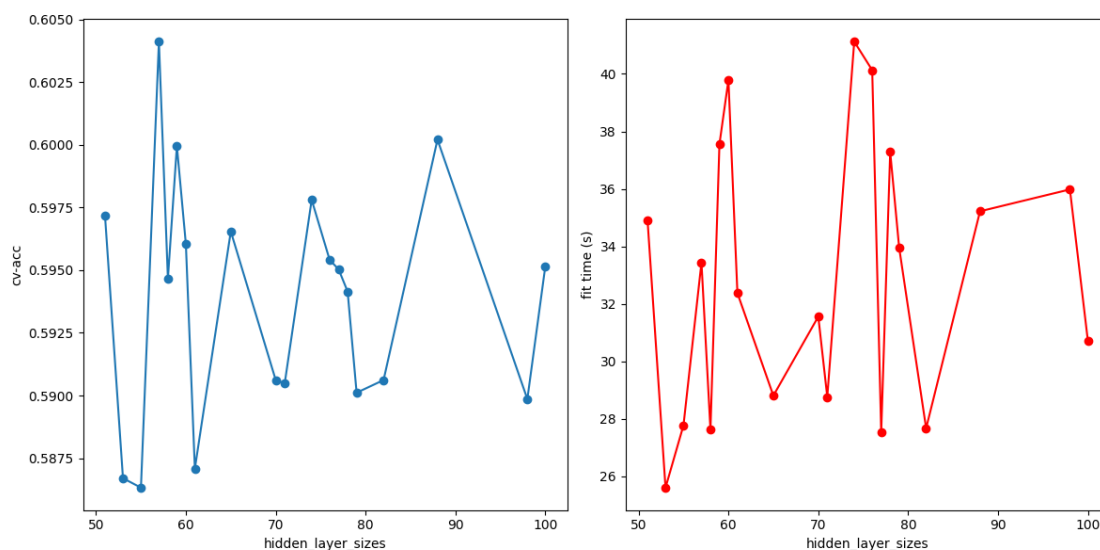


Figura 13: acc-cv/tiempo según hidden\_layer\_sizes en MLP.

El resultado de [13](#) nos deja dos tamaños con los mejores resultados en sus entornos, en 57 y 88, por tanto probamos con estas configuraciones:

```
{"clf": [MLPClassifier(random_state = SEED,
                        learning_rate_init = 0.1,
                        solver = 'sgd',
                        max_iter = 300,
                        learning_rate = 'adaptive',
                        activation = 'relu',
                        tol = 1e-3)],
"clf__hidden_layer_sizes": [(57, 57), (88, 88)],
"clf__alpha": loguniform(1e-2, 1e2)}
```

Además añadimos el hiperparámetro alpha relativo a la regularización L2 para que el modelo generalice mejor.

## 8.5. K-Nearest Neighbors (KNN)

Algoritmo de los  $k$  vecinos más cercanos mediante el objeto `KNeighborsClassifier`, usando la métrica euclídea, y el espacio de búsqueda para el hiperparámetro  $k$ , considerando la regla a ojo que recomienda usar  $k = \sqrt{N}$ , vamos desde 1 hasta 200 pasando por  $k \approx 90$  (tamaño dataset preanálisis):

```
{"clf": [KNeighborsClassifier()],
"clf__n_neighbors": [1, 3, 5, 10, 20, 25, 30, 40, 50, 100, 200]}
```

Los resultados preanálisis [14](#) nos confirman la regla experimental, ya que el óptimo está en 100; por tanto para el conjunto training usamos un entorno de  $k \approx 141$ , quedando el espacio de búsqueda como lo siguiente:

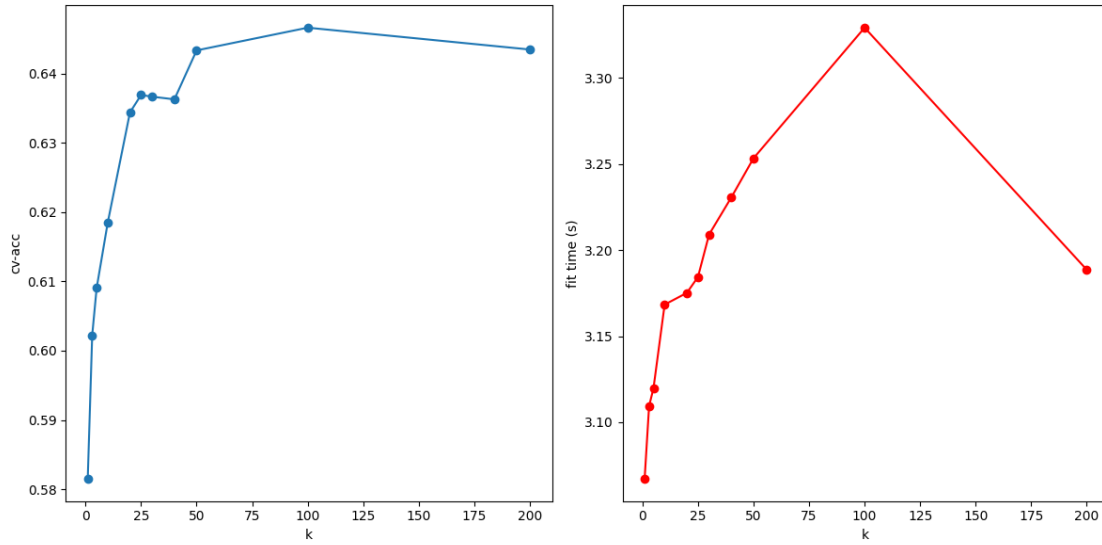


Figura 14: acc-cv/tiempo según k en KNN.

```
{"clf": [KNeighborsClassifier()],
  "clf__n_neighbors": [80, 100, 120, 150],
  "clf__weights": ['uniform', 'distance']}
```

Además añadimos para dar más variabilidad en la búsqueda, el hiperparámetro `weights` que permite cambiar el peso de los vecinos: `uniform` todos importan igual, `distance` los vecinos importan en función de la distancia.

## 8.6. Redes de funciones de Base Radial (RBF)

El clasificador está implementado en la clase `RBFNetworkClassifier` siguiendo el algoritmo 1 en REFERENCIA\_LIBRO. Hemos considerado el algoritmo K-medias (`KMeans`) para encontrar los  $k$  centroides, la sugerencia de fijar  $r = \frac{R}{k^{1/d}}$  y finalmente el algoritmo lineal considerado con el espacio transformado  $Z$  ha sido Regresión Lineal + L2 (`RidgeClassifier`) ya que usamos el método de la psuedoinversa que es más sencillo y rápido, aunque podría haberse usado cualquier otro modelo lineal.

---

**Algorithm 1:** Fit RBF-Network( $X, y, k$ )

---

$\mu = \mu_1, \dots, \mu_k = \text{KMeans}(X, k);$

$R = \max_{i,j} \|x_i - x_j\|;$

$r = \frac{R}{k^{1/d}};$

$Z = \text{KernelRBF}\left(\frac{d(X, \mu)}{r}\right);$

Fit `LinearRegression`( $Z, y$ );

---

Los hiperparámetros a considerar son tanto el nº de centroides  $k$  como el parámetro de regularización en el modelo lineal  $\alpha$ , cuya configuración de búsqueda inicial es:

```
{
  "clf": [RBFNetworkClassifier(random_state = SEED)],
  "clf__k": [5, 10, 25, 50, 100, 200, 300, 400],
  "clf__alpha": [0.0, 1e-10, 1e-5, 1e-3, 1e-1, 1.0, 10.0]}

```

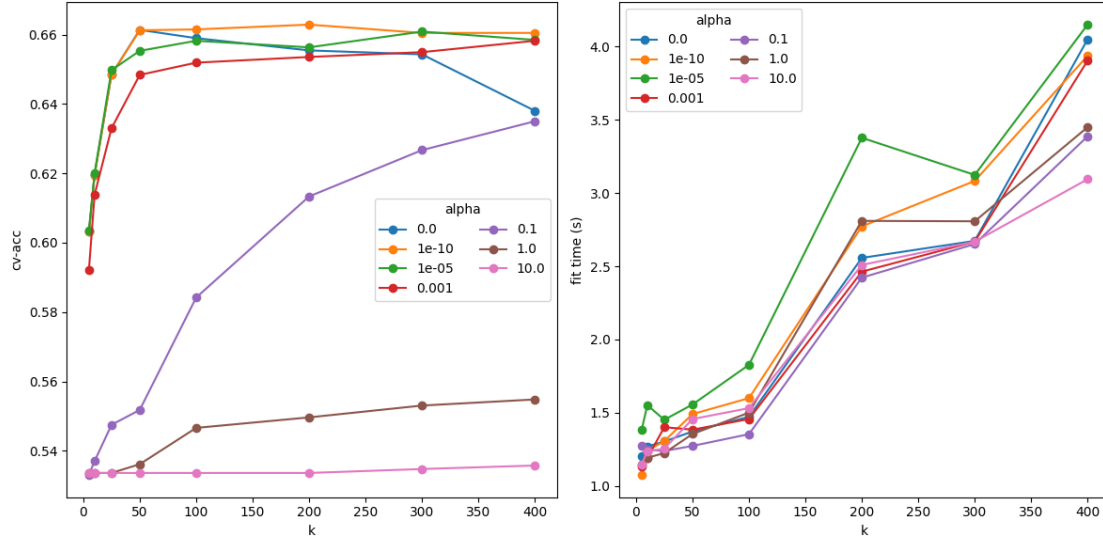


Figura 15: acc-cv/tiempo según 'k' y 'alpha' en RBF.

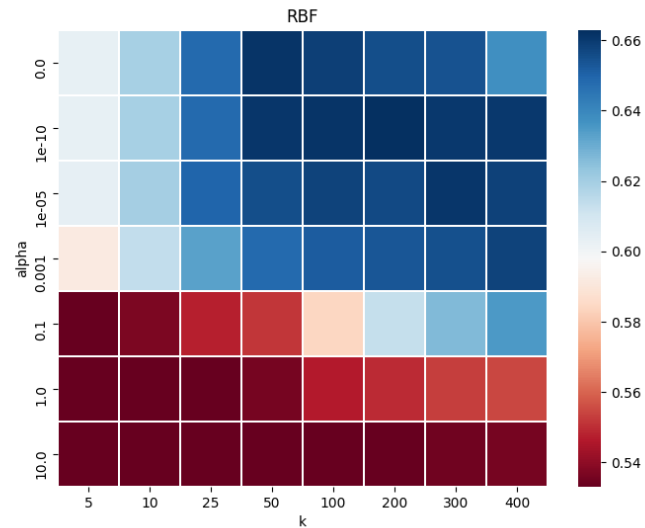


Figura 16: Mapa de calor según 'k' y 'alpha' en RBF.

Los resultados del preanálisis [15](#) y [16](#) nos indican como los mejores resultados se encuentran con  $k \geq 50$  y  $\alpha \leq 10^{-5}$ , donde además vemos que los resultados buenos tienden a estabilizarse. Por tanto el espacio de búsqueda final queda así:

```
{
  "clf": [RBFNetworkClassifier(random_state = SEED)],
  "clf__k": [50, 100, 200, 300, 400],
  "clf__alpha": [0.0, 1e-10, 1e-5]}

```

## Aleatorio

Incorporamos el clasificador aleatorio con el objeto `DummyClassifier` como clasificador base para comparar el resto de modelos. Se espera que este clasificador tenga un acierto de 50 % (2 clases) por lo que cualquier modelo debería obtener un acierto por encima de este para considerarlo bueno.

## 9. Análisis de resultados

Las mejores configuraciones de cada modelo estan en la tabla 3, cuyos resultados de las métricas acc y AUC en training/test se recojen en la tabla 4.

Modelo	Hiperparámetros
Lineal	LogisticRegression, C = 0.1
RandomForest	max_depth = 20, n_estimators = 600, ccp_alpha = 0
Boosting	GradientBoostingClassifier, max_depth = 4, n_estimators = 100, subsample = 0.75
MLP	hidden_layer_sizes = (88, 88), alpha = 3.0
KNN	n_neighbors = 150, weights = 'distance'
RBF-Network	k = 300, alpha = 1e-10
Aleatorio	—

Tabla 3: Mejores configuraciones

Modelo	$acc_{in}$	$acc_{test}$	$AUC_{in}$	$AUC_{test}$
Lineal	67.74	65.55	74.32	70.92
RandomForest	<b>99.80</b>	<b>66.71</b>	<b>99.99</b>	72.60
Boosting	71.21	66.44	78.61	<b>72.84</b>
MLP	66.04	64.83	71.77	70.25
KNN	—	63.95	—	68.80
RBF-Network	65.93	64.83	71.40	70.14
Aleatorio	50.43	50.58	50.08	49.78

Tabla 4: Resultados de cada modelo

Veamos las curvas de aprendizaje de cada modelo para ver si hay underfitting, overfitting o hay un ajuste más o menos bueno:

- LogisticRegression: 17
- RandomForest: 18
- GradientBoostingClassifier: 19
- MLP: 20
- KNN: 21
- RBF-Network: 22

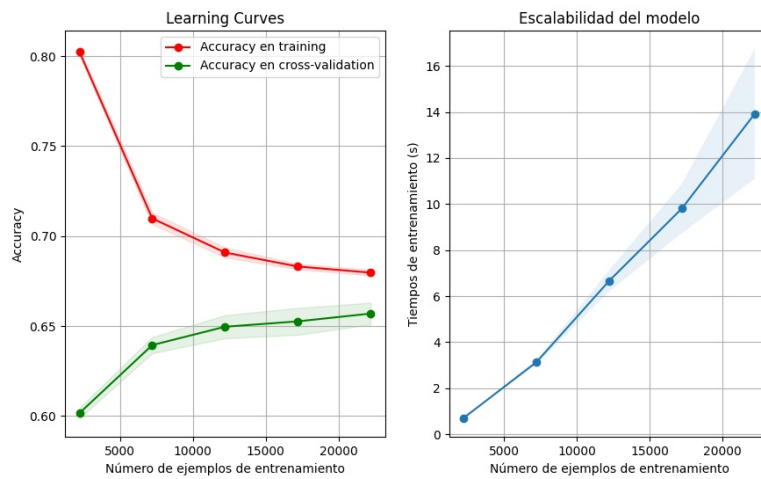


Figura 17: Curvas de aprendizaje para LogisticRegression.

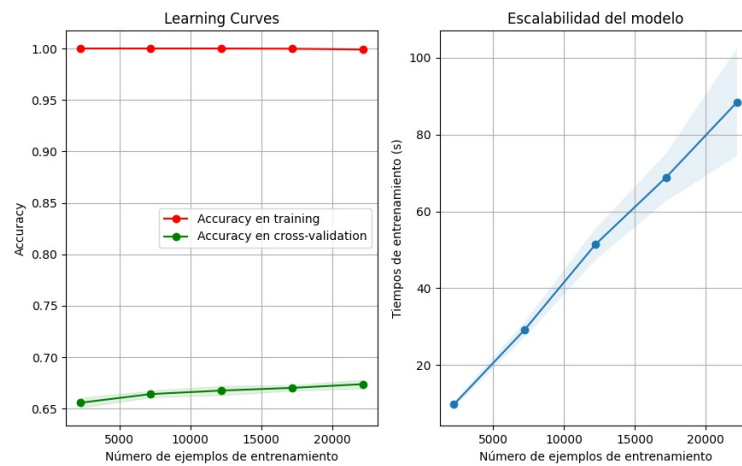


Figura 18: Curvas de aprendizaje para RandomForest.

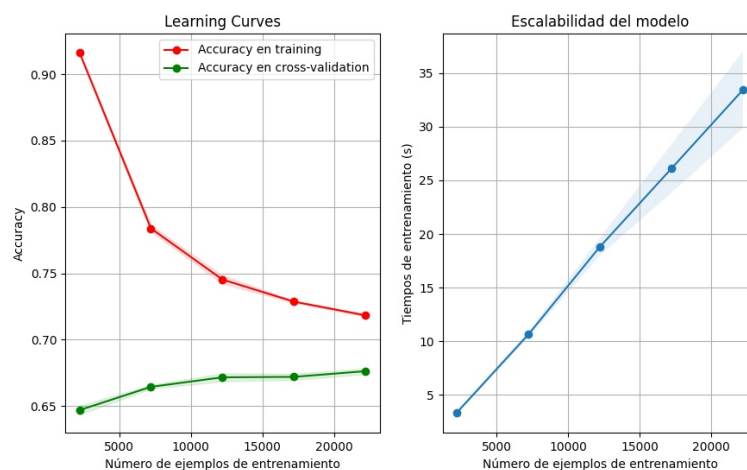


Figura 19: Curvas de aprendizaje para GradientBoostingClassifier.

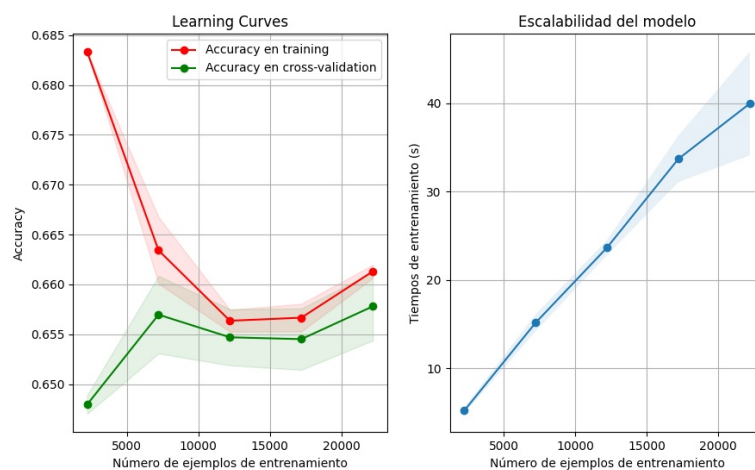


Figura 20: Curvas de aprendizaje para MLPClassifier.

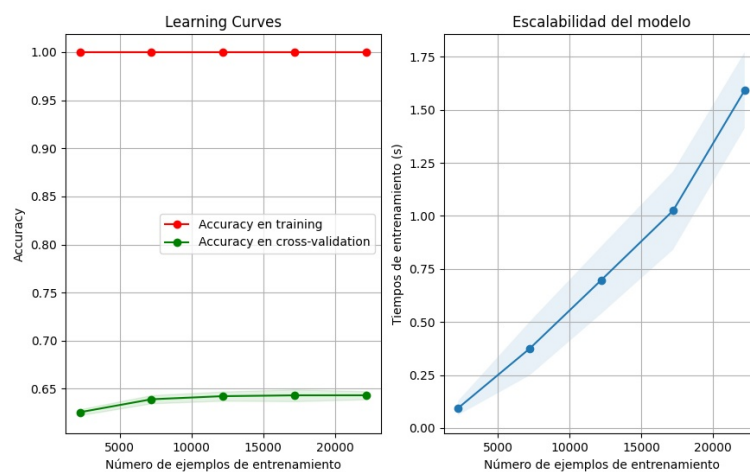


Figura 21: Curvas de aprendizaje para KNeighborsClassifier.

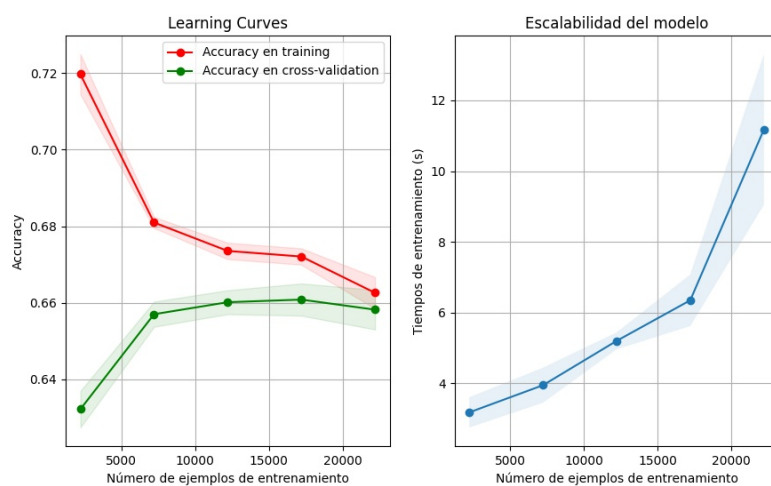


Figura 22: Curvas de aprendizaje para RBFNetworkClassifier.



En general, exceptuando KNN y RandomForest que sabemos que tienden mucho al sobreajuste siempre (KNN ya que tiene el propio punto en el training, y RandomForest por el bajísimo sesgo por construcción de árboles), los modelos empiezan con un gran sobreajuste que va disminuyendo conforme el nº de datos aumenta (las curvas se van acercando) y que acaban por casi juntarse con todos los datos.

Esto nos indica que los modelos consiguen un buen ajuste con poco overfitting, sacando casi todo el partido de los datos que tenemos. Observamos también que las curvas de validación se estabilizan, indicándonos que probablemente con muchos más datos no vamos a obtener ventajas notables por lo que si queremos aumentar mucho más la métrica deberemos considerar, por ejemplo, recolectar más características.

## 10. Conclusiones y estimación del error

- Modelos lineales: llegan a casi lo mismo que otros muchos más potentes.
- Repaso por encima de todos.

(Fernandes et al., 2015)

## Anexo: Funcionamiento del código

### Bibliografía

Fernandes, K., Vinagre, P., & Cortez, P. (2015). A proactive intelligent decision support system for predicting the popularity of online news. *Proceedings of the 17th portuguese conference on artificial intelligence*. Coimbra, Portugal.