

Práctica 3

Celia Arias Martínez

En esta práctica vamos a realizar el ajuste y selección del mejor predictor lineal para un conjunto de datos dados. Vamos a tener dos problemas: uno de regresión y otro de clasificación, por lo que haremos dos secciones, y desarrollaremos dentro de cada sección los pasos que llevaremos a cabo, todos ellos encaminados a seleccionar el mejor modelo y la mejor estimación de error E_{out}

Regresión

Para este problema utilizamos la base de datos *Superconductivty Data Data Set* encontrada aquí.

Comprensión del problema a resolver. Identificación de los elementos X, Y y f .

Lo primero que tenemos que identificar es el problema que queremos resolver. En este caso, ayudados por la información proporcionada por el dataset, podemos ver que lo que tenemos que resolver es la asignación de una temperatura crítica a un superconductor, dadas unas características como el número de elementos, la masa atómica, el radio atómico, el punto de fusión, la entropía, etcétera. En concreto tenemos datos sobre 21263 superconductores, y de cada uno de ellos tenemos 81 características.

Por tanto los elementos son:

X : matriz con las características de los superconductores

Y : temperatura crítica del superconductor

f : función que asocia a cada superconductor su temperatura crítica.

Selección de modelos.

Lo primero que tenemos que fijar al resolver un problema de aprendizaje automático es la clase de funciones a usar. No he realizado transformaciones de

los datos, pues, tras analizar las variables que actúan y representarlas mediante t-sne no he encontrado ninguna relación entre ellas que me indicara que iba a conseguir mejores resultados ni con transformaciones lineales ni con no lineales.

De modelos he utilizado un modelo de regresión lineal que implementa gradiente descendiente estocástico. En total he probado con 16 modelos, cada uno de ellos con unos parámetros diferentes.

Los parámetros utilizados han sido:

- Función de pérdida: *squared_loss* y *epsilon_insensitive*

Estas funciones de pérdida definen hacia dónde avanza el algoritmo. *squared_loss* es la utilizada por defecto y es el ajuste por mínimos cuadrados ordinario. *epsilon_insensitive* ignora los errores que son menores que *epsilon* (por defecto 0.1) y es la función de pérdida utilizada en SVR (Support Vector Regression, una variante de SVM). SVR funciona igual que SVM estableciendo un margen de tolerancia en el que se permiten los errores. He utilizado estas dos funciones de pérdida ya que me ha parecido interesante comprobar el método de regresión lineal estudiado en teoría con el equivalente de SVM que también lo hemos estudiado en teoría.

- Learning rate: *optimal* y *adaptive*

Learning rate es la tasa de aprendizaje, es decir, a qué velocidad avanza gradiente descendiente estocástico. *optimal* tiene la siguiente fórmula: $\eta = 1/(\alpha * (t + t_0))$. En *adaptive* $\eta = \eta_0$ siempre que vayamos en la dirección adecuada, y si alcanzamos un número determinado de iteraciones sin hacer que el error vaya a menos se divide η por 5. He seleccionado estos dos tipos de learning rate para probar dos modelos de tasa de aprendizaje: uno en el que learning rate está fijo y otro en el que se va adaptando a la situación en la que se encuentre. La ventaja de este último es que se comportará mejor cuando esté cerca de la solución, pues podrá avanzar en pasos más pequeños, pero también tiene más probabilidades de caer en mínimos locales.

- η_0 : 0.01

Valor inicial de learning rate para *adaptive*. Valor por defecto.

- Máximo de iteraciones: 10000

El valor por defecto es 1000, pero viendo que siempre se alcanzaba el máximo de iteraciones sin obtener un resultado final he decidido aumentarlo algo más, ya que he comprobado que con ese valor el tiempo de ejecución no es demasiado alto y los valores obtenidos en *cross-validation* eran mejores.

Para la regularización también he empleado dos parámetros, que probaré con los modelos antes mencionados para ver cuál se adapta mejor a nuestro problema.

- Tipo de regularización: l1 y l2

l2, también llamada regularización Ridge, es la regularización por defecto, y favorece que los coeficientes de los atributos sean bajos. Su fórmula es $\text{sum}(w^2) < C$. Es efectiva cuando la mayoría de atributos son relevantes, lo cual puedo pensar que es nuestro caso, dado el preprocesamiento de datos que realizamos. l1, también llamada regularización Lasso, favorece que alguno de los coeficientes valgan cero. La fórmula es: $\text{sum}(\text{abs}(w)) < C$. l2 funciona mejor si la mayoría de los atributos son relevantes y l1 si no están correlados entre ellos, y tienen efectos contrapuestos: l2 minimiza el efecto de la correlación y l1 la irrelevancia de atributos. Como en el preprocesamiento de datos que he realizado he intentado eliminar la irrelevancia y la correlación he decidido probar con los dos modelos de regularización.

- Constante de regularización: 0.0001 y 0.001

Constante que multiplica el efecto de la regularización. Si el valor es más alto la regularización es más alta. 0.0001 es el valor que tiene por defecto y 0.001 he decidido probarlo para ver qué resultado tenía potenciar la regularización de nuestros modelos. No he probado con valores más altos pues al hacer *cross-validation* no he obtenido sobreajuste, y por tanto no creo que sea necesaria aplicar una regularización más estricta.

Partición en test y entrenamiento.

He dividido el conjunto de datos proporcionado en test y entrenamiento, según la proporción 20%/80% vista en teoría. Para ello he utilizado la función *train_test_split*, haciendo una mezcla previa de los datos, para evitar sesgo por que estuviesen ordenados de alguna forma previamente.

La base de datos no traía conjuntos diferenciados de train y test, por lo que no he podido hacer la comprobación de si los resultados eran parecidos utilizando esta división o la proporcionada.

Preprocesado de datos.

Lo primero que hacemos es **normalizar** los datos. Creo que esto es necesario porque así podemos tener una idea de la verdadera importancia de una variable o de otra, así como las diferencias entre las varianzas de cada una de ellas.

Para ello he utilizado la función *StandardScaler*, he escalado con los datos de entrenamiento y he aplicado los valores obtenidos a los de test, con el objetivo de no hacer *data snooping*. He escalado los datos para que tengan media cero y varianza uno.

Después he decidido **visualizar** los datos con *t-sne*, para ver si me podía aportar más información sobre el problema. He comentado el código pues el tiempo de

ejecución era demasiado alto pero adjunto las imágenes obtenidas. Los parámetros utilizados son los de defecto de t-sne, es decir, *perplexity* = 30, *early_exaggeration* = 12, *learning_rate* = 200.

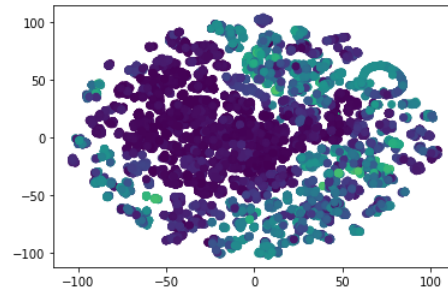


Figura 1: t-SNE parámetros por defecto

Como puede observarse la visualización por t-sne no ha añadido mucha información al problema que tenemos que tratar.

Lo siguiente que hacemos es ver si hay algún **valor perdido** en el conjunto de datos que nos han proporcionado. Esto lo hacemos primero convirtiendo nuestra matriz en un data frame de pandas, y después llamando a la función:

```
np.all(df_train.notnull())
```

Nos devuelve *True*, por tanto significa que no hay valores perdidos.

Lo siguiente que vamos a estudiar es la **correlación** entre los atributos.

Para ello utilizamos la función *corr()* del data frame de pandas, y utilizamos la función *heatmap* de la biblioteca *seaborn*. Dado el gran número de características que tenemos he decidido solo colorear las relaciones fila-columna que tengan coeficiente de *Pearson* mayor que 0.95. La gráfica obtenida es:

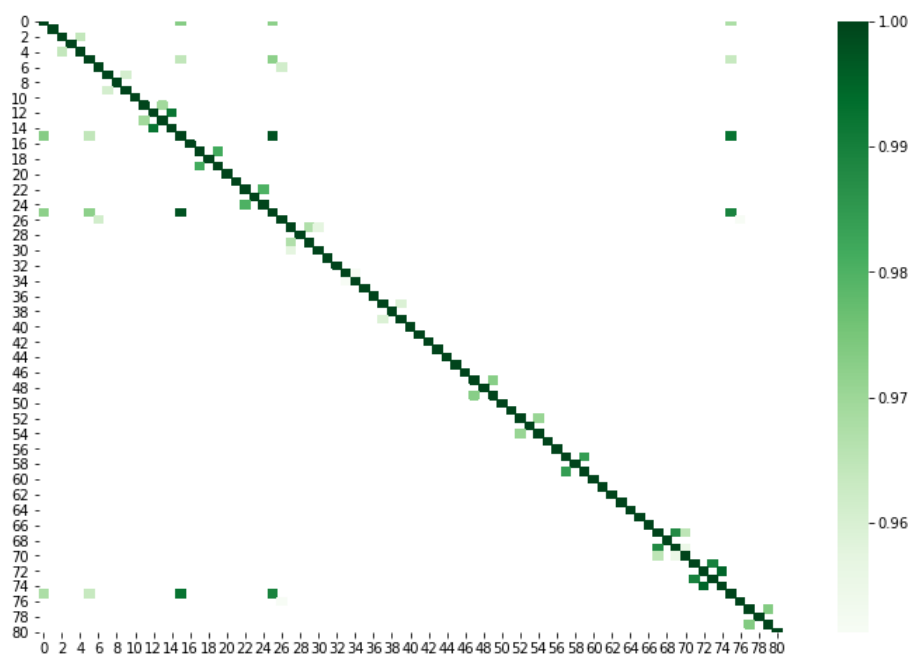


Figura 2: Matriz de correlación

Podemos observar que, en general, no existe una correlación generalizada entre las características. Sí que se da más entre características que están cercanas entre ellas, esto puede deberse a que algunas de las características son diferentes medias de las variables (media aritmética, geométrica, etc) y están situadas consecutivamente.

He decidido eliminar las características que tengan más de 0.9 de coeficiente de Pearson entre ellas. Para ello hago uso de una función que muestra por pantalla las variables que tengan más de dicho coeficiente en valor absoluto, y sin mostrar los pares redundantes. Los resultados obtenidos han sido:

Carac. 1	Carac. 2	Coef Pearson	Carac.1	Carac.2	Coef Pearson
15	25	0.998	11	13	0.969
72	74	0.995	0	75	0.968
72	74	0.995	27	29	0.967
15	75	0.993	67	70	0.965
12	14	0.992	5	15	0.965
71	73	0.99	2	4	0.964
25	75	0.99	5	75	0.964
67	69	0.988	6	126	0.962
57	59	0.984	7	9	0.961
17	19	0.982	37	39	0.96

Carac. 1	Carac. 2	Coef Pearson	Carac.1	Carac.2	Coef Pearson
22	24	0.980	27	30	0.957
77	79	0.974	69	70	0.955
0	15	0.973	33	34	0.951
47	49	0.973	26	76	0.951
0	25	0.972	52	54	0.971
5	25	0.972			

Como podemos ver los coeficientes de relación de Pearson son muy cercanos a 1 en valor absoluto. Creo que por este motivo puede ser beneficioso reducir variables ya que lo que nos puede aportar una característica va a ser casi igual a lo que nos aporte otra que tenga un coeficiente de correlación tan cercano a uno.

Por tanto elimino las características correspondientes a las columnas:

0,2,5,6,7,11,12,15,17,22,26,25,27,33,37,47,52,57,67,69,71,72 y 77.

Hemos eliminado 23 atributos y nos quedan 58, un número que me parece demasiado grande todavía.

Vamos a estudiar ahora la **variabilidad** en los datos.

Para ello he dibujado un *boxplot* o diagrama de caja, que representa los cuartiles de las variables y nos muestra a simple vista los valores atípicos y la dispersión de los valores de las características. Esto lo he hecho con la función *boxplot* del data frame de pandas. La gráfica es:

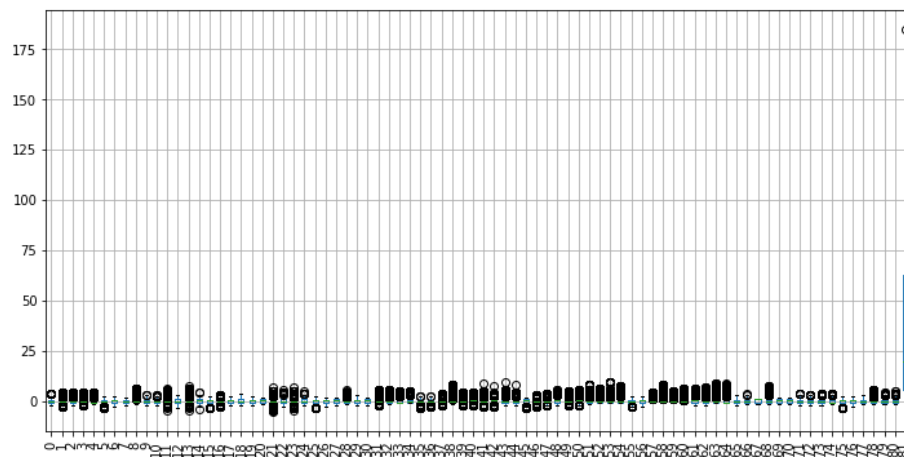


Figura 3: Diagrama de caja

Podemos ver que la columna 81, correspondiente a las etiquetas, tiene un valor atípico por encima de 175, lo que podría ser un error. Sin embargo, ya que

no conocemos las características propias de los superconductores, no podemos decir si ese dato es válido o no, para ello tendríamos que consultarlo con los expertos que hayan tomado la muestra de los datos. Las demás características no presentan valores atípicos, pero hay algunas que nos llaman la atención por su poca -o nula- variabilidad. Estas son las columnas 20,69,70. He decidido eliminar estas características ya que pienso que pueden contribuir muy poco a la varianza global, y por tanto nos van a aportar poca información respecto al problema que queremos resolver. La columna 69 la habíamos eliminado antes, así que eliminamos ahora la 20 y la 70.

No he utilizado PCA porque he considerado que el preprocesado de datos realizado ha sido suficiente para quitar las variables redundantes o que no aportaban información.

Tras el preprocesado de datos que acabo de explicar he vuelto a dibujar en 2D los datos para ver si podía obtener información nueva, pero al igual que anteriormente no ha dado resultado.

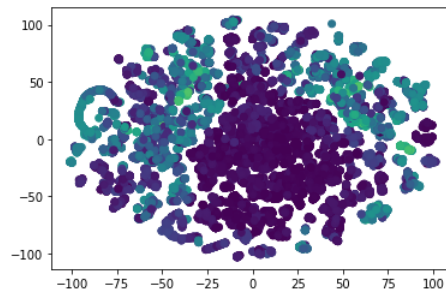


Figura 4: t-SNE tras reducir variables

Métrica de error a usar.

Para la selección del modelo final en *cross-validation* he elegido la métrica de R^2 , es decir, el coeficiente de determinación, que es el cuadrado del coeficiente de correlación de Pearson, y determina la calidad del modelo para replicar los resultados así como la proporción de variación de los resultados que puede explicarse por el modelo. Toma valores entre 0 y 1, y el modelo será mejor cuanto más se acerque a 1.

Para evaluar el modelo final también he utilizado, además del coeficiente de determinación ya mencionado, el error cuadrático medio, que es un estimador que mide el promedio de los errores al cuadrado, es decir, la diferencia entre el estimador y lo que se estima. Lo he utilizado porque es un criterio de evaluación muy usado en problemas de regresión.

Selección de la mejor hipótesis.

Para seleccionar el mejor modelo para el problema he utilizado *cross-validation*.

Cross-validation es una técnica utilizada para evaluar los resultados de un determinado modelo y garantizar que son independientes de los datos de test. Los pasos son: se divide el conjunto de entrenamiento en k subconjuntos (lo recomendado es 5 ó 10, he elegido 5 porque los tiempos de ejecución eran menores), se realizan k iteraciones, en cada una de ellas se deja un subconjunto para evaluar y se entrena con los restantes. Por último se calcula la media del error en todas las iteraciones y nos quedamos con el modelo que tenga mejor media. De esta forma conseguimos que la elección del modelo sea más independiente de la partición elegida, sin hacer *data snooping*, es decir, sin utilizar los datos de test

En mi caso he recorrido todos los modelos y he utilizado la función *cross_val_score*, que devuelve un array con los errores obtenidos en un modelo determinado. He calculado la media de los errores de cada modelo y me he quedado con el modelo que mejor media tuviese.

Después de tener el modelo ya elegido he entrenado toda la muestra de train con dicho modelo, ya que los resultados que podemos obtener serán mejores cuanto más grande sea el conjunto de entrenamiento, por tanto en principio deberían ser mejores que los obtenidos en *cross-validation*. Por último he hecho predicción de los valores de las etiquetas en test y entrenamiento y he calculado los errores.

Los resultados que he obtenido han sido:

- Modelo seleccionado:

Regresión lineal con función de pérdida *squared_loss*, learning rate *adaptive*, regularización *l1* y coeficiente de regularización 0.0001.

Vemos que concuerda con lo que en principio habíamos pensado que tenía sentido, ya que la función de pérdida *squared_loss* tiene menos tolerancia a los errores que *SVR*. Además el coeficiente de regularización es pequeño, como habíamos supuesto que sería ya que nuestro modelo tiene poca tendencia al sobreajuste.

- Coeficiente de determinación:

Coeficiente de determinación en train: 0.709

Coeficiente de determinación en test: 0.713

- Error cuadrático medio:

Error cuadrático medio en train: 342.675

Error cuadrático medio en test: 330.337

Podemos observar que los errores en train y test son muy similares, ligeramente superior el de entrenamiento. Esto nos dice que no hay sobreajuste en el modelo, es decir, no intenta explicar el error estocástico, haciendo que E_{in} se vaya a cero mientras que E_{out} crece mucho.

Otras consideraciones

He realizado dos experimentos más: uno orientado a saber si hemos reducido de forma correcta los atributos que nos proporcionaban, y otro a saber si los errores que hemos obtenido podemos pensar que son lo suficientemente buenos o no.

Para el primero he vuelto a entrenar el modelo, esta vez con la matriz de datos original -con los datos normalizados- y he calculado los errores obtenidos. Los resultados han sido:

- Coeficiente de determinación en train: 0.7355
- Coeficiente de determinación en test: 0.7356

Podemos comprobar que hemos obtenido resultados muy parecidos, pero algo mejores que los obtenidos con la muestra tras el preprocesado de datos. Creo que esto es normal, ya que al tener más datos es normal que obtengamos mejores resultados, pero al ser una diferencia tan pequeña me lleva a pensar que la reducción de variables ha sido correcta. En un caso real utilizaría la primera opción si el número de variables es demasiado grande, y si eso puede afectar seriamente al tiempo de ejecución. Si no tenemos prisa por obtener los resultados y el tiempo de ejecución es razonable quizás utilizaría la segunda opción, ya que los resultados son algo mejores.

Para el segundo experimento he utilizado un modelo *naive*, que asigna valores aleatorios entre el mínimo y el máximo de las etiquetas. El resultado ha sido:

- Error cuadrático medio: 7289.733

De esta forma podemos comprobar que, aunque los resultados obtenidos con mi modelo no son increíblemente buenos, si es un avance positivo respecto a lo que tendríamos si utilizáramos un estimador aleatorio, es decir, sin usar técnicas de aprendizaje automático.

Clasificación

Para este problema utilizamos la base de datos *Sensorless Drive Diagnosis* encontrada aquí.

Comprensión del problema a resolver. Identificación de los elementos X, Y y f .

El problema que queremos resolver es dado un motor, asignarlo a una de las once clases que tenemos. Cada motor tiene algunos componentes defectuosos, y lo que queremos es saber qué tipo de problema tiene el motor. Cada motor ha sido sometido a diferentes velocidades, momentos y fuerzas de carga, y los resultados obtenidos son las características de cada motor. En concreto tenemos datos sobre 58509 motores, y de cada uno de ellos tenemos 49 características.

Por tanto los elementos son:

X : matriz de características de los motores

Y : clase a la que pertenece el motor (tipo de defecto que tiene)

f : función que asocia a cada motor una clase

Selección de modelos

Lo primero que tenemos que decidir es la clase de funciones a usar. No he realizado transformaciones de los datos, ya que no he encontrado ninguna relación lógica que me llevase a hacerlo, y según la *navaja de Ockham*, en igualdad de condiciones la explicación más sencilla suele ser la más probable.

Para los modelos he utilizado 16 modelos, cada uno de ellos con unos parámetros diferentes.

Los parámetros han sido:

- Función de pérdida: *hinge* y *log*

Estas funciones de pérdida definen hacia donde avanza el algoritmo. *log* es regresión logística, que es una clasificación probabilística. La he utilizado porque la hemos estudiado en teoría y ya la habíamos usado previamente en prácticas. Además es, sin necesidad de ninguna adaptación, una técnica de clasificación multiclase. *hinge* es la utilizada por defecto y es el equivalente a SVM multiclase. Lo he utilizado porque establece un margen de tolerancia en el que se permiten los errores, y pienso que nuestro problema, al no haber una división clara de las clases, puede comportarse bien de esta forma.

- Learning rate: *optimal* y *adaptive*

Learning rate es la tasa de aprendizaje, es decir, a qué velocidad avanza gradiente descendiente estocástico. *optimal* tiene la siguiente fórmula: $\eta = 1/(\alpha * (t + t_0))$. En *adaptive* $\eta = \eta_0$ siempre que vayamos en la dirección adecuada, y si alcanzamos un número determinado de iteraciones sin hacer que el error vaya a menos se divide η por 5. He seleccionado estos dos tipos de learning rate para probar dos modelos de tasa de aprendizaje: uno en el que learning rate está fijo y otro en el que se va adaptando a la situación en la que se encuentre. La ventaja de este último es que se comportará mejor cuando esté cerca de la solución, pues podrá avanzar en pasos más pequeños, pero también tiene más probabilidades de caer en mínimos locales.

- η_0 : 0.01

Valor inicial de learning rate para *adaptive*. Valor por defecto.

- Máximo de iteraciones: 10000

El valor por defecto es 1000, pero viendo que siempre se alcanzaba el máximo de iteraciones sin obtener un resultado final he decidido aumentarlo algo más, ya que he comprobado que con ese valor el tiempo de ejecución no es demasiado alto y los valores obtenidos en *cross-validation* eran mejores.

Para la regularización también he empleado dos parámetros: el tipo de regularización y la constante de regularización.

- Tipo de regularización: l1 y l2

l2, también llamada regularización Ridge, es la regularización por defecto, y favorece que los coeficientes de los atributos sean bajos. Su fórmula es $\sum(w^2) < C$. Es efectiva cuando la mayoría de atributos son relevantes, lo cual puedo pensar que es nuestro caso, dado el preprocesamiento de datos que realizamos. l1, también llamada regularización Lasso, favorece que alguno de los coeficientes valgan cero. La fórmula es: $\sum(\text{abs}(w)) < C$. l2 funciona mejor si la mayoría de los atributos son relevantes y l1 si no están correlados entre ellos, y tienen efectos contrapuestos: l2 minimiza el efecto de la correlación y l1 la irrelevancia de atributos. Como en el preprocesamiento de datos que he realizado he intentado eliminar la irrelevancia y la correlación he decidido probar con los dos modelos de regularización.

- Constante de regularización: 0.0001 y 0.001

Constante que multiplica el efecto de la regularización. Si el valor es más alto la regularización es más alta. 0.0001 es el valor que tiene por defecto y 0.001 he decidido probarlo para ver qué resultado tenía potenciar la regularización de nuestros modelos. No he probado con valores más altos pues al hacer *cross-validation* no he obtenido sobreajuste, y por tanto no creo que sea necesaria aplicar una regularización más estricta.

Partición en test y entrenamiento.

Dividimos el conjunto de datos en test y entrenamiento. Para ello utilizamos la función `train_test_split`, introduciendo la aleatoriedad y reservando un 20 % de los datos para test. He reservado una proporción bastante grande de los datos porque tenemos una muestra muy grande, así que los resultados que obtendremos con el 80 % de los datos serán presumiblemente buenos.

Comprobamos que los datos están bien balanceados:

Proporción de cada clase en entrenamiento:

[0.091, 0.090, 0.091, 0.091, 0.091, 0.091, 0.09, 0.092, 0.092, 0.091, 0.09]

En test no podemos comprobar que los datos estén balanceados, pues eso se consideraría *data snooping*.

Podemos comprobar que hay muy poca diferencia en la distribución de las clases, por tanto asumimos que los datos están balanceados y que la muestra proporcionada es válida para aplicar aprendizaje automático.

Añadir que la base de datos no tenía conjuntos diferenciados en train y test, por lo que no he podido hacer la comparación de mi partición con otra que viniese por defecto.

Preprocesado de datos.

Lo primero que hacemos es **normalizar** los datos. Creo que esto es necesario porque así podemos tener una idea de la verdadera importancia de una variable o de otra, así como las diferencias entre las varianzas de cada una de ellas.

Para ello he utilizado la función `StandardScaler`, he escalado con los datos de entrenamiento y he aplicado los valores obtenidos a los de test, con el objetivo de no hacer *data snooping*. He escalado los datos para que tengan media cero y varianza uno.

Después he decidido visualizar los datos con *t-SNE*. *t-SNE* intenta reproducir la distribución que existe en el espacio original en otro espacio de dimensión menor, en este caso de dimensión 2, para que podamos visualizarlo. Al contrario que PCA, que simplemente maximiza la varianza, *t-SNE* hace que puntos con características parecidas queden cerca en el modelo final, y los que menos se parecen queden más alejados.

Adjunto el gráfico obtenido con *t-SNE*, lo he comentado en el código ya que tarda mucho. He intentado cambiar algunos parámetros para que vaya más rápido pero no ha funcionado ninguno, como explico más abajo.

t-SNE admite algunos parámetros tales como: *perplexity*, *early_exaggeration*, *learning_rate*, *n_iter*, *metric*, *method*, etc.

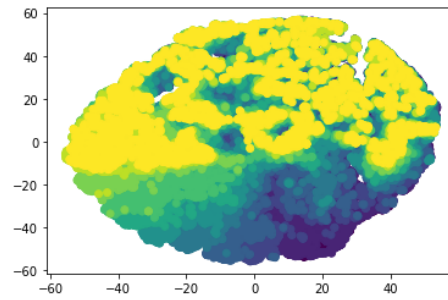
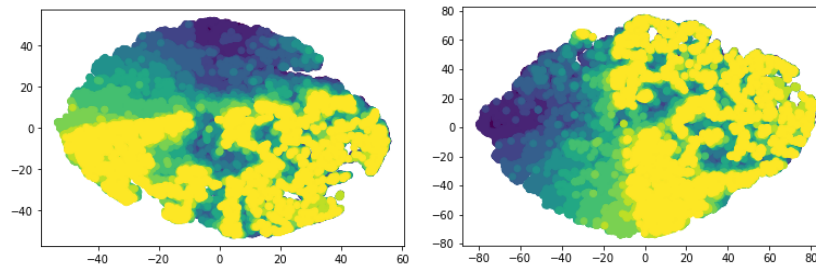


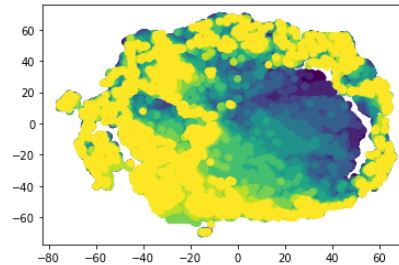
Figura 5: t-SNE parámetros por defecto

Vamos a cambiar algunos valores de los parámetros, para ver cómo influye en el resultado final y cuáles de ellos se ajustan mejor a nuestro modelo.



(a) perplexity = 45

(b) learning rate = 400



(c) early-exaggeration=30

No he incluido estas gráficas en el código porque tardan mucho tiempo en ejecutar, pero las menciono aquí a modo de comentario.

Vemos que no tenemos diferencias muy significativas al variar los parámetros, al menos no tenemos diferencias que nos añadan más información de la que disponemos. En cuanto al tiempo podemos ver que el método tarda mucho tiempo en ejecutarse, pero tampoco he podido disminuir ese tiempo al cambiar los parámetros.

He intentado visualizar los datos porque pensaba que, en un problema de

clasificación, podía ayudarnos a ver si algunas clases estaban más relacionadas entre ellas, o cuales se diferenciaban más, para luego poder compararlo con los errores que obtengamos tras la aplicación del modelo. Sin embargo los resultados obtenidos no han servido de mucha ayuda.

Lo siguiente que hacemos es ver si hay algún **valor perdido** en el conjunto de datos que nos han proporcionado. Esto lo hacemos primero convirtiendo nuestra matriz en un data frame de pandas, y después llamando a la función:

```
np.all(df_train.notnull())
```

Nos devuelve *True*, por tanto significa que no hay valores perdidos.

Lo siguiente que vamos a estudiar es la **correlación** entre los atributos.

Para ello utilizamos la función *corr()* del data frame de pandas, y utilizamos la función *heatmap* de la biblioteca *seaborn*. Dado el gran número de características que tenemos he decidido solo colorear las relaciones fila-columna que tengan coeficiente de *Pearson* mayor que 0.9. La gráfica obtenida es:

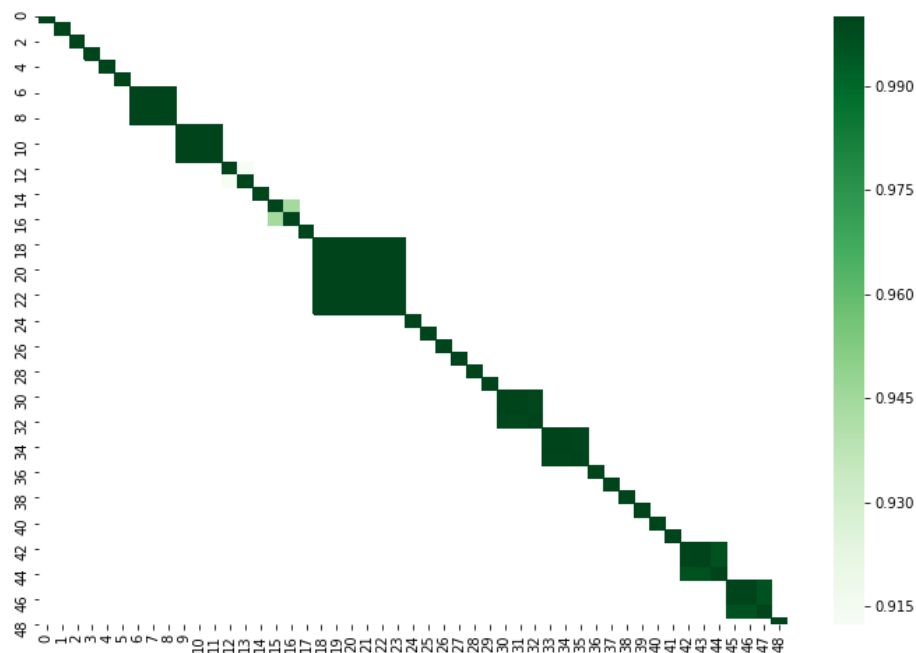


Figura 7: Matriz de correlación

Podemos observar que existen determinados grupos de variables que están fuertemente correlados. Como no tenemos información específica de a qué tipo de dato corresponde cada columna no podemos explicar el por qué de esa correlación, pero podemos suponer que son valores que físicamente se determinan unos a otros.

Podemos interpretar que esos elementos los tenemos duplicados en nuestros datos, ya que esas variables se explican entre ellas con un coeficiente de Pearson 1 o muy cercano a 1. Por tanto he decidido mostrar por pantalla los pares con coeficientes de Pearson mayor a 0.9, para posteriormente proceder a la eliminación de uno de los dos elementos del par.

Los pares obtenidos son:

Carac. 1	Carac. 2	Coef Pearson	Carac.1	Carac.2	Coef Pearson
21	22	1	18	19	1
9	10	1	22	23	1
19	29	1	21	23	1
18	20	1	6	7	1
10	11	1	9	11	1
7	8	1	33	34	1
6	8	1	18	23	1
19	23	1	18	22	1
18	21	1	19	22	1
19	21	1	20	23	1
20	22	1	20	21	1
30	31	1	42	43	1
45	46	1	34	35	1
33	35	1	31	32	1
30	32	1	43	44	0.997
42	44	0.997	46	47	0.996
45	47	0.996	15	16	0.945
12	13	0.912			

Por tanto elimino las características correspondientes a las columnas:

7,8,10,11,13,16,19,20,21,22,23,31,32,34,35,43,44,46 y 47.

Estudiamos ahora la **variabilidad** de los datos.

Para ello he dibujado un *boxplot* o diagrama de caja, que representa los cuartiles de las variables y nos muestra a simple vista los valores atípicos y la dispersión de los valores de las características. Esto lo he hecho con la función *boxplot* del data frame de pandas. La gráfica es:

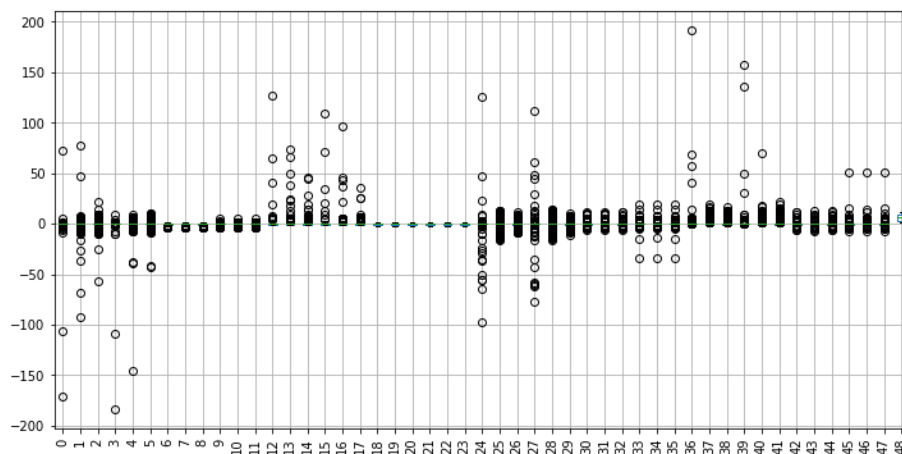


Figura 8: Diagrama de caja

Podemos ver que hay valores con datos más alejados, y otros con una varianza muy pequeña. En relación a los valores atípicos he decidido no quitar ninguno, pues no me han parecido lo suficientemente grandes, pero para poder tratar este apartado con un mejor criterio deberíamos preguntarles a los expertos que han tomado los datos, que nos pueden decir si los valores obtenidos son reales o no. En cuanto a la varianza sí que he observado que hay características que la tienen casi nula, por lo que pienso que contribuirán poco a la variabilidad total, y por tanto a la hora de decidir si un determinado motor pertenece a una clase u a otra. Es por eso que he decidido eliminar las columnas 18,19,20,21,22 y 23 (salvo la 18 ya estaban eliminadas antes).

Tenemos ahora, por tanto, 29 variables, con lo que hemos reducido considerablemente el número de variables originales. Es por esto por lo que he decidido no utilizar PCA, pues las técnicas que PCA utiliza van orientadas a quedarnos con las variables que expliquen la máxima variabilidad, procedimiento que yo ya he llevado a cabo.

Tras el preprocesado de datos que acabo de explicar he vuelto a dibujar en 2D los datos, con ayuda de t-SNE, para ver si así podía obtener información nueva. La gráfica (comentada en el código porque tarda mucho en ejecutarse) es:

Podemos observar que en este caso sí ha mejorado la visualización con respecto a t-SNE antes del preprocesado, pero aún así vemos que no hay una clara separación entre clases, lo que nos puede llevar a pensar que el modelo final que obtengamos para clasificación no vaya a ser demasiado bueno.

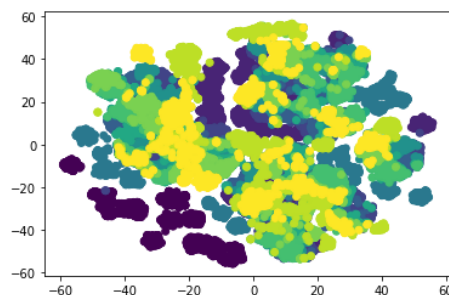


Figura 9: t-SNE tras reducir variables

Métrica de error a usar.

Para la selección del modelo final en *cross-validation* he elegido la métrica *accuracy*, es decir, la fracción de predicciones que el modelo ha realizado correctamente. La he elegido frente a precisión, sensibilidad o especificidad porque entiendo que en nuestro problema no tenemos tanta problemática si clasificamos mal un motor, simplemente lo que estamos buscando es un modelo que lo haga mejor de lo que lo haríamos sin él, es decir, que acierte lo máximo posible.

Selección de la mejor hipótesis.

Para seleccionar el mejor modelo para el problema he utilizado *cross-validation*.

Cross-validation es una técnica utilizada para evaluar los resultados de un determinado modelo y garantizar que son independientes de los datos de test. Los pasos son: se divide el conjunto de entrenamiento en k subconjuntos (lo recomendado es 5 ó 10, he elegido 5 porque los tiempos de ejecución eran menores), se realizan k iteraciones, en cada una de ellas se deja un subconjunto para evaluar y se entrena con los restantes. Por último se calcula la media del error en todas las iteraciones y nos quedamos con el modelo que tenga mejor media. De esta forma conseguimos que la elección del modelo sea más independiente de la partición elegida, sin hacer *data snooping*, es decir, sin utilizar los datos de test.

En mi caso he recorrido todos los modelos y he utilizado la función *cross_val_score*, que devuelve un array con los errores obtenidos en un modelo determinado. He calculado la media de los errores de cada modelo y me he quedado con el modelo que mejor media tuviese.

Después de tener el modelo ya elegido he entrenado toda la muestra de train con dicho modelo, ya que los resultados que podemos obtener serán mejores cuanto más grande sea el conjunto de entrenamiento, por tanto en principio deberían

ser mejores que los obtenidos en *cross-validation*. Por último he hecho predicción de los valores de las etiquetas en test y entrenamiento y he calculado los errores.

Los resultados que he obtenido han sido:

- Modelo seleccionado:

Regresión logística con learning rate *adaptive*, regularización *l1* y coeficiente de regularización 0.001.

Vemos que el modelo elegido coincide con el del problema de regresión en el learning rate y en el tipo de regularización, pero elige esta vez el coeficiente de regularización más grande, puede que debido a que tenemos menos características.

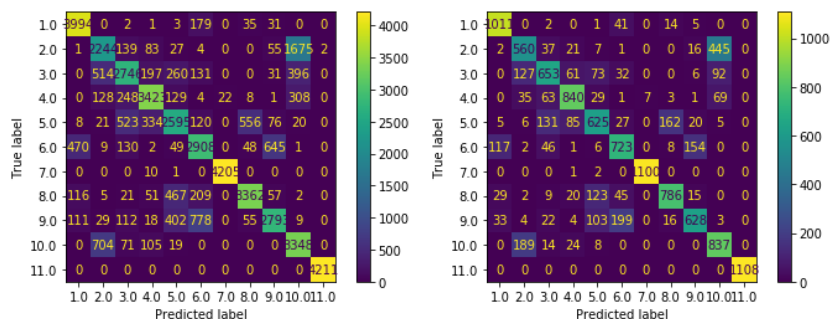
- Porcentaje bien clasificadas:

Accuracy en train: 0.766

Accuracy en test: 0.759

Podemos observar que los errores en train y test son similares, algo inferiores en train lo cual tiene sentido. No tenemos sobreajuste, pues el error en test no es significativamente más grande que el de entrenamiento.

Para poder comprender mejor cómo clasifica en clases nuestro modelo he calculado la matriz de confusión en entrenamiento y en test.



(a) Matriz de confusión entrenamiento

(b) Matriz de confusión en test

Podemos ver que los resultados en entrenamiento y test son muy parecidos, lo cual es algo positivo de nuestro modelo pues quiere decir que hemos podido aprender de una manera correcta. Hay determinadas clases, como la 10 y la 2, o la 6 y la 9, que el modelo confunde con bastante frecuencia. Esto puede deberse a que esos determinados grupos tengan características muy parecidas, pero una vez más, como no tenemos suficientes datos sobre el problema no podemos asegurar nada.

Otras consideraciones

He realizado dos experimentos más: uno orientado a saber si hemos reducido de forma correcta los atributos que nos proporcionaban, y otro a saber si los errores que hemos obtenido podemos pensar que son lo suficientemente buenos o no.

Para el primero he vuelto vuelto a entrenar el modelo, esta vez con la matriz de datos original -con los datos normalizados- y he calculado los errores obtenidos. Los resultados han sido:

- Accuracy en test: 0.754
- Accuracy en train: 0.759

Hemos obtenido valores muy parecidos a los que tenemos tras reducir variables, lo que me hace pensar que he hecho la reducción de dimensionalidad bien. Además una matriz con menos características en principio debería darnos mejores tiempos de ejecución, por lo que creo que es buena opción reducir dimensionalidad en este caso.

Para el segundo experimento he utilizado un modelo *naïve*, que asigna clases aleatorias entre las 11 que tenemos, a cada motor. El resultado ha sido:

- Accuracy de forma aleatoria: 0.082

De esta forma podemos comprobar que, aunque los resultados obtenidos con mi modelo no son increíblemente buenos, si es un avance positivo respecto a lo que tendríamos si utilizáramos un estimador aleatorio, es decir, sin usar técnicas de aprendizaje automático.