

# Modelización para la Predicción de Sensores de Gas para Monitorización de Actividad Doméstica

Jorge Durán León, Jaime Enríquez Ballesteros, Marcos de las Heras Roncero

Escuela Politécnica Superior, Fundamentos de Aprendizaje Automático

## 1 Introducción

El proyecto que se ha realizado trata sobre el análisis de un conjunto de datos recogidos por 8 sensores de gas, un sensor de temperatura y un sensor de humedad. Estos sensores fueron expuestos a estímulos por la presencia de vino y plátanos. Además, se recogen datos de la respuesta a la no presencia de ninguno de ellos. El objetivo del proyecto es la clasificación de las respuestas de los sensores a los estímulos previamente dichos. Para ello primero se analizarán los datos del dataset mediante técnicas de preprocesamiento para ver que pueden ofrecer esos datos a la hora de clasificar las respuestas. Después, se elegirán los modelos de aprendizaje automático supervisado que mejor nos convengan para dicho dataset. Por último, se compararán los resultados de los distintos modelos y razonaremos si son resultados aceptables y qué modelos han dado mejores resultados.

## 2 Descripción del Dataset

El dataset proporcionado de los datos de los sensores está compuesto por dos archivos: el archivo HT\_Sensor\_dataset.dat; que contiene el identificador de la inducción, instantes de tiempo para cada inducción y los datos de los sensores para cada inducción en esos instantes de tiempo, y el archivo HT\_Sensor\_metadata.dat; que contiene para cada inducción su identificador, el día en que fue realizada, el estímulo usado para la inducción, y el intervalo de tiempo de la inducción, que está dividido en tiempo inicial y duración de la misma.

En este último dataset hay 3 clases distintas para clasificar, que se corresponden con los estímulos que reciben los sensores: vino (wine), plátano (banana) y ningún estímulo (background). En total se realizan 100 inducciones, donde 36 se realizan con vino, 33 con plátano y 31 son background. De esas 100 inducciones se recogen 928991 datos en distintos instantes de tiempo. Al analizar los datos se puede comprobar que no hay datos para la inducción con el identificador 95, por lo que esta instancia es descartada del análisis. Además de los datos recogidos durante la inducción, se nos ofrecen los datos de los instantes previos y posteriores de la inducción. Esta división del tiempo se puede calcular fácilmente para cada inducción con la ayuda de los datos del tiempo del archivo de los metadatos (HT\_Sensor\_metadata.dat), por lo que podemos distinguir para

cada experimento estos tres periodos diferenciados. Comprobamos que para los experimentos con identificadores 14 y 76 no tenemos datos posteriores a la inducción, por lo que también los descartamos, quedando 97 instancias válidas. Los atributos del dataset son numéricos y reales, por lo que se pueden utilizar las medidas características de la distribución de cada atributo para analizarlo. Estas medidas pueden ser de centralización, como la media, o de dispersión, como la varianza. Con estas medidas se puede ver como se comporta cada sensor frente a los estímulos. En el siguiente apartado se verá un pequeño resumen sobre el análisis llevado a cabo sobre los datos y el proceso a seguir para obtener los atributos que serán utilizados para entrenar a los modelos en el apartado 4.

### 3 Análisis de los Datos y Elección de Atributos

La mayoría de funciones utilizadas para el análisis de los datos y el preprocesamiento previo al entrenamiento de modelos se pueden encontrar en el fichero *Preprocess.py*. La única excepción es la función utilizada para la representación de instancias a lo largo del tiempo que encontramos en el fichero *Plot\_Induction\_Figure.py* que se facilita en [1]. Todas las operaciones de este apartado (así como del resto) pueden encontrarse en *proyecto.ipynb*. Se utilizan los módulos de Pandas [2], NumPy [3], Sci-kit Learn [4] y Matplotlib [5]. El primer paso para el análisis será representar los experimentos para cada clase y fijarse en qué atributos pueden marcar la diferencia a la hora de clasificar. La Figura 1 muestra la progresión de los sensores para 3 experimentos (id=0, id=1, id=69), uno por clase.

Se puede observar como los atributos de temperatura y humedad obtienen valores y varianzas muy similares independientemente de la clase. Al representar esta relación, se comprueba como estos atributos no nos van a ayudar a predecir la clase de cada experimento, al no estar correlacionados. Por otro lado, se observa como cuando la humedad es más alta, los sensores obtienen unos resultados más fluctuantes que con humedad baja. Se puede ver claramente cuando se representan los experimentos con id=0 e id=10 (se muestra en el código). Se estima que los atributos de temperatura y humedad pueden ser útiles si se utilizan junto a otros atributos para la clasificación, pero no si se utilizan solos.

Por otro lado, los sensores obtienen estimulaciones muy diferentes entre ellos según la clase. La fluctuación de los sensores durante la estimulación del experimento (entre las dos líneas azules) es muy pronunciada para el vino, seguido del plátano y muy poco notable cuando no se introduce ningún elemento en el sensor. En la Figura 1 se muestra muy claramente. Por lo tanto, la varianza de cada sensor puede ser un posible atributo para nuestro modelo. Además, como se muestra en el código, la media y mediana de los sensores son muy similares independientemente de la clase que utilicemos. No serán considerados como atributos útiles para el modelo final. Lo mismo sucede con los valores máximos y mínimos de cada sensor. Aunque los valores varían mucho dependiendo de

cada ejemplo, no existe un patrón que se repita según la clase. En el caso de utilizar alguna de estas cuantías como atributo de un modelo, se obtienen resultados muy malos. Modificando mínimamente el código se puede comprobar este suceso.

Volviendo a la variabilidad de los sensores, la distancia entre el máximo y mínimo valor de cada sensor (que será referido como amplitud) también podría ser útil a la hora de clasificar. Como con la varianza, se obtienen unos valores mayores para los casos en los que el objeto es vino en comparación con un plátano o cuando no se inserta nada. Se puede considerar por lo tanto, que los atributos que se tomarán para entrenar a nuestro modelo se basarán en la variabilidad de cada uno de los sensores, al ser las cuantías que más correlación observada obtienen con la correspondiente clase. Tras calcular la varianza y amplitud de cada sensor, se obtienen 16 atributos para cada ejemplo. A estos atributos se les añaden las medias de la humedad y temperatura, que como se explica anteriormente, pueden ayudar en el proceso de clasificación, aunque por sí solos no sean útiles. En total se tendrán 18 atributos de entrada por ejemplo del dataset.

Todos los atributos serán normalizados previo al entrenamiento del modelo.

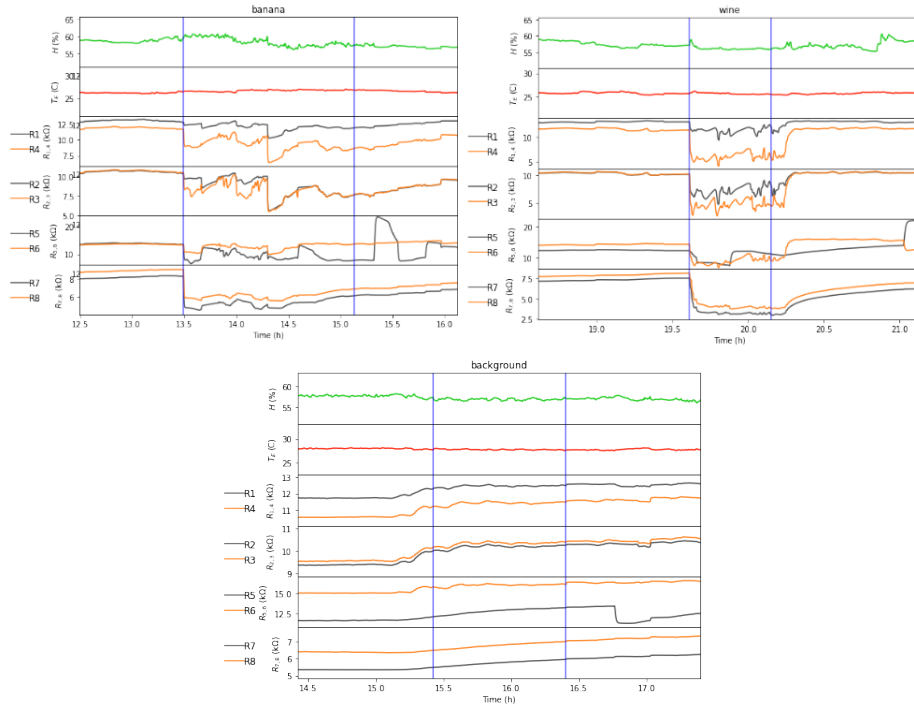


Fig. 1: Comparación entre clases

Este paso mejora la predicción de los modelos al no utilizar distintas escalas para cada atributo . Para este proyecto se utiliza el método de Sci-kit Learn *StandardScaler* que normaliza los atributos restando su correspondiente media y dividiendo el resultado por la desviación estándar. Tras esta transformación se puede comenzar a entrenar a los modelos. En el siguiente apartado se describe el proceso seguido.

## 4 Modelos Propuestos

A la hora de definir los distintos conjuntos de datos de entrenamiento y prueba, se deberá prestar atención a mantener la misma proporción de cada clase en cada conjunto. De este modo no habrá infrajuste sobre una clase que tenga poca presencia en el conjunto de entrenamiento, por ejemplo. Para ello se hace uso del método de Sci-kit Learn *StratifiedShuffleSplit* que mezclará el conjunto de datos entero y dividirlo entre conjunto de entrenamiento y prueba. Se utilizará un conjunto de prueba del 10% de tamaño del conjunto total.

Utilizando el módulo de Python *LazyPredict* se podrá hacer una rápida evaluación sobre qué modelos obtendrán buenos resultados. Uno de los modelos del módulo puede entrenar muchos algoritmos de clasificación de Sci-kit Learn[4], xgboost [8] o lightgbm [9] a partir de unos parámetros de entrada y calcular el error de predicción sobre un conjunto de prueba calculando el "F-1 Score" o "Accuracy" de cada modelo. Debido a que este conjunto de datos es tan pequeño y es probable que los modelos se sobreajusten sobre los datos de entrenamiento, causando que las predicciones sean muy erróneas, el proceso de entrenamiento y validación de *LazyPredict* se repetirá un total de 30 veces. De este modo se dividirá el conjunto de datos cada una de las veces de manera distinta, se almacenarán los resultados (de F1 y Accuracy) y se calculará la media de los resultados para obtener así el mejor modelo sobre las 30 iteraciones.

Adicionalmente, se decide probar a utilizar un modelo de redes neuronales y comprobar su eficiencia sobre nuestro conjunto de datos. Se implementa mediante el módulo de Python, Keras [7]. Se utilizará una red neuronal de una capa oculta con la arquitectura que muestra la Figura 3, con un input de 18 atributos, una capa oculta de 10 perceptrones y un output de 3 probabilidades. Las dos primeras capas con una función de activación ReLu y la última Softmax, para calcular las probabilidades de cada ejemplo. No se espera obtener resultados buenos debido a la poca cantidad de datos para el entrenamiento que causará un infrajuste sobre el modelo.

Otro tipo de clasificación a considerar es *OneVsRest* para predecir los casos de una sola clase. Merece la pena destacar los resultados que se obtienen con este tipo de clasificación. Algunos de los modelos que se utilizan ya usan este tipo de clasificación de forma combinada para clasificar los ejemplos entre las tres clases (como SVM). Se utilizan las varianzas de los valores de los 8 sensores

Modelo	Accuracy	F1-Score
RandomForestClassifier	0.76	0.75
ExtraTreesClassifier	0.74	0.74
XGBClassifier	0.74	0.73
LogisticRegression	0.74	0.72
LinearSVC	0.73	0.71

Table 1: Precisión de los distintos modelos

como input y se separan en rangos de tiempo (antes, durante y después). Se comprobará de forma empírica que la combinación de variaciones es el mejor input para la predicción de una clase respecto al resto. La clasificación óptima se obtiene con el algoritmo de clasificación *RandomForestClassifier*.

## 5 Discusión de Resultados

Sobre los 28 modelos, los mejores cinco que se obtienen (y su correspondientes métricas) se muestran en la Tabla 2. Los resultados pueden variar según la ejecución pero estos modelos siempre se encuentran entre los cinco primeros.

A partir de estos resultados, se deciden utilizar los cinco modelos: *LogisticRegression*, *KNeighborsClassifier*, *RandomForestClassifier*, *LinearSVC* y *XGBClassifier*. Utilizando la última división del conjunto de datos de las 30 iteraciones, se realiza una validación cruzada para cada modelo con nuestros datos de entrenamiento con el número de folds siendo igual a 10. De este modo, se realizarán más validaciones y los modelos podrán ser entrenados sobre la mayoría de datos del conjunto de entrenamiento. A partir de las validaciones cruzadas podremos obtener una matriz de confusión. Esto es posible gracias al método de Sci-kit Learn *cross\_val\_predict* que almacena todas las predicciones sobre cada fold de la validación cruzada. Los resultados se muestran en la Figura 2.

Observando las matrices de confusión, se eligen los modelos de Regresión Logística (*LogisticRegression*) y de "Extreme Gradient Boosting" [8] (*XGBClassifier*), al ser los que mayor exactitud ("accuracy") obtienen. Estos dos modelos serán refinados mediante el módulo de Sci-kit Learn, *GridSearchCV* para obtener los valores de sus hiperparámetros que maximicen el acierto en las predicciones. Con los modelos obtenidos tras el refinamiento de parámetros se realiza un entrenamiento y una predicción sobre los conjuntos de entrenamiento y de prueba, correspondientemente. Para el modelo de "Extreme Gradient Boosting" se obtiene un acierto del 80% mientras que para el de regresión logística un acierto del 70%. Como se menciona anteriormente, estos valores pueden variar según se ejecute otra vez, pero los resultados no deberían de cambiar más del 5%.

Podemos ver el resultado de la clasificación mediante redes neuronales en la

Figura 3. Se muestran los malos resultados de validación del modelo, con un 50% de acierto y un error que baja muy ligeramente a medida que aumentan las épocas. Aparenta ser un modelo que claramente está infrajustado.

Para los clasificadores *OneVsRest* se comprueba de forma empírica que las mejores combinaciones de varianzas como atributos son:

- varianzas durante la inducción para los casos de tipo banana.

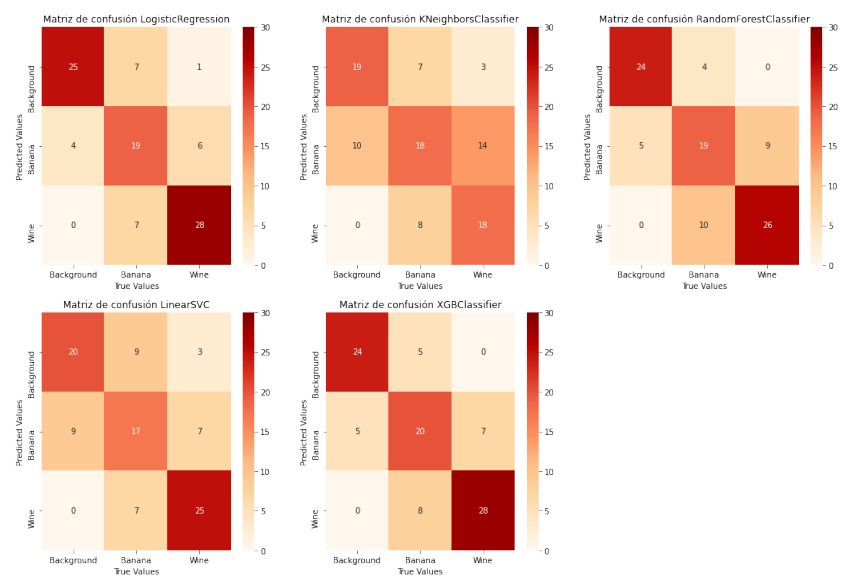


Fig. 2: Matrices de confusión sobre distintos modelos

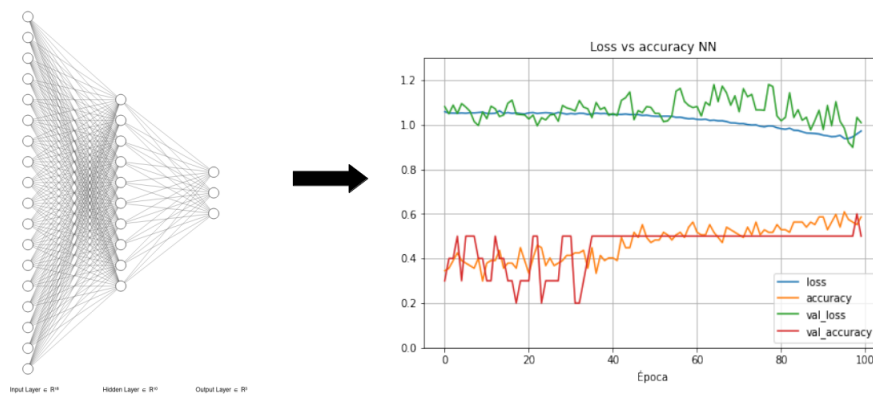


Fig. 3: Matrices de confusión sobre distintos modelos

Modelo	Accuracy	F1-Score
Banana	0.75	0.64
Wine	0.9	0.9
Background	0.95	0.915

Table 2: Precisión por clase

- varianzas durante y después de la inducción para los casos de tipo wine.
- varianzas antes, durante y después de la inducción para los casos de tipo background.

Mediante los resultados presentes en la Tabla 2 se obtienen valores aceptables para la predicción de la clase banana y muy acertados para las otras dos clases. Estas afirmaciones quedan respaldadas por los curvas ROC presentes en la la figura 4, donde podemos ver que en el caso del plátano, la tasa de acierto sube mediante escalones con un crecimiento reducido, mientras que en el caso del vino sigue una forma logarítmica, y en el caso nada toma prácticamente el valor de 1 en el momento inicial.

La Tabla 3 demuestra que no se puede confiar en las predicciones de este modelo cuando se trata de detectar la clase "banana", al considerar la mayoría de las predicciones como "no banana". Sin embargo, las Tablas 4 y 5 permiten ver que la precisión del modelo es muy fiable para detectar "wine" o "background".

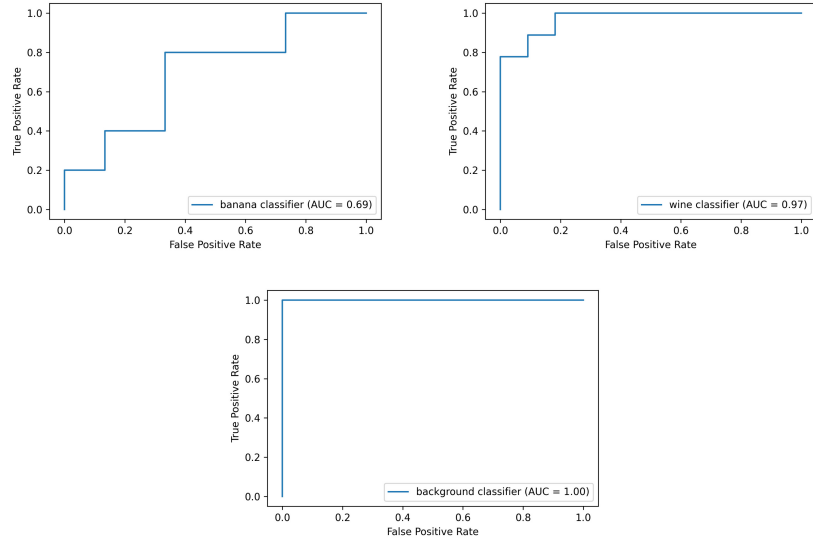


Fig. 4: Curvas ROC para cada clase

Class	Precision	Recall	F1-Score
F	0.81	0.87	0.84
T	0.5	0.4	0.44

Table 3: Análisis de predicción de banana

Class	Precision	Recall	F1-Score
F	1	0.82	0.9
T	0.82	1	0.9

Table 4: Análisis de predicción de wine

Class	Precision	Recall	F1-Score
F	0.94	1.00	0.97
T	1.00	0.75	0.86

Table 5: Análisis de predicción de background

## 6 Conclusión y Futuro Trabajo

Mediante los resultados obtenidos en el apartado anterior se concluye que una buena opción en cuanto a atributos para un clasificador multiclase serán las cuantías que muestren la variabilidad de un ejemplo (varianza, amplitud...). Además, la media de temperaturas y humedad logran aportar una mejora en los modelos. Similarmente, para la predicción de una sola clase se considera que la mejor configuración de atributos es la variación de los valores que toman los sensores. La selección de estos atributos al notar grandes modificaciones en los resultados cuando los sensores son sometidos a un estímulo, de esta forma, tiene sentido que la varianza y la diferencia entre sus valores máximos y mínimos sean buenos atributos para clasificar este conjunto de datos. Adicionalmente podemos determinar que los valores de la humedad y temperatura pueden ser a su vez relevantes ya que pueden afectar a la detección de valores de los distintos sensores.

Para concluir, determinamos que los mejores modelos para clasificación multiclase son los de Regresión Logística y de XDB, mientras que para predecir una sola clase se recomienda utilizar el clasificador de Random Forest. Los valores de estos modelos son aceptables para todos los casos exceptuando la predicción única de la clase banana.

Como futuro trabajo planteamos la posibilidad de un estudio más profundo sobre otras medidas de variabilidad de los sensores y comprobar si mejoran los resultados mostrados. Otra posible expansión del trabajo puede consistir en la predicción de cuándo comienza la estimulación y cuándo termina en un experimento.



## References

- [1] Ramon Huerta, Thiago Mosqueiro, Jordi Fonollosa, Nikolai Rulkov, Irene Rodriguez-Lujan. *Online Decorrelation of Humidity and Temperature in Chemical Sensors for Continuous Monitoring. Chemometrics and Intelligent Laboratory Systems 2016.*
- [2] Pandas. McKinney, W., and others. (2010). *Data structures for statistical computing in python. In Proceedings of the 9th Python in Science Conference (Vol. 445, pp. 51–56).*
- [3] Numpy. Oliphant, T. E. (2006). *A guide to NumPy (Vol. 1). Trelgol Publishing USA.*
- [4] Sci-kit Learn. Pedregosa, F., Varoquaux, Ga"el, Gramfort, A., Michel, V., Thirion, B., Grisel, O., ... others. (2011). *Scikit-learn: Machine learning in Python. Journal of Machine Learning Research, 12(Oct), 2825–2830.*
- [5] Matplotlib. Hunter, J. D. (2007). *Matplotlib: A 2D graphics environment. Computing in Science amp; Engineering, 9(3), 90–95.*
- [6] LazyPredict.  
<https://github.com/shankarpandala/lazypredict>
- [7] Keras. Chollet, F., others. (2015). *Keras. GitHub. Retrieved from <https://github.com/fchollet/keras>*
- [8] XGBoost. Tianqi Chen and Carlos Guestrin. *XGBoost: A Scalable Tree Boosting System. In 22nd SIGKDD Conference on Knowledge Discovery and Data Mining, 2016*
- [9] LightGBM. Guolin Ke, Qi Meng, Thomas Finley, Taifeng Wang, Wei Chen, Weidong Ma, Qiwei Ye, Tie-Yan Liu. "LightGBM: A Highly Efficient Gradient Boosting Decision Tree". *Advances in Neural Information Processing Systems 30 (NIPS 2017), pp. 3149-3157.*