

UNIVERSIDAD: RAMON LLULL

LENGUAJE DE SIGNOS A TEXTO

Trabajo Final de Grado

Tutoras:

Núria Valls Canudas y Elisabet Golobardes Ribé

Autora:

Mar Galiana Fernández

Índice

1. Resumen	3
2. Introducción	4
3. Estado del arte	5
3.1. Fundamentos de la enfermedad	5
3.1.1. Prestación clínica	5
3.1.2. Problemas actuales	6
3.2. Aproximaciones actuales	6
3.2.1. Proyectos realizados	6
3.2.2. Técnicas	7
3.2.3. Algoritmos de inteligencia artificial	7
3.2.4. Datos	7
4. Fundamentos	8
5. Hardware	9
6. Experimentación	10
6.1. Experimentación 1: Búsqueda del dataset	10
6.2. Experimentación 2: Uso de redes neuronales	12
6.3. Experimentación 3: Uso de árboles de decisión	20
6.4. Comparativa de las experimentaciones 2 y 3	24
6.5. Experimentación 4: Incremento dataset	26
6.6. Experimentación 5: Mejorar rendimiento de la CNN	32
6.6.1. Tamaño del <i>Batch</i> y número de <i>Epochs</i>	33
6.6.2. Algoritmos de optimización	35
6.6.3. Índice de aprendizaje e impulso	36
6.6.4. Inicialización del peso de la red	38
6.6.5. Función de activación neuronal	40
6.6.6. Regulación del <i>Dropout</i>	41
6.6.7. Número de neuronas	44
6.6.8. Resultados de la optimización	45
6.7. Comparativa de las experimentaciones 4 y 5	50
6.8. Experimentación 6: Uso de clasificadores binarios	52
7. Propuesta	58
8. Costes del proyecto	59
9. Conclusiones y líneas de futuro	60
9.1. Conclusiones	60
9.2. Líneas de futuro	60

A. Anexo	61
A.1. Estructura árbol de decisión con el dataset <i>Sign Language Gesture Images</i>	61
A.2. Estructura árbol de decisión con el dataset <i>Sign Language Gesture Images</i> preprocesado	62

1. Resumen

2. Introducción

3. Estado del arte

El análisis del estado del arte, que se realizará en este proyecto, hace referencia a todas las tecnologías y ayudas que disponen las personas sordomudas a la hora de comunicarse con una persona que no sepa el lenguaje de signos.

Esta comunicación se dificulta, no solo por el echo de que la mayoría de la población no tiene los conocimientos necesarios para poder comunicarse en un lenguaje no verbal; sino por el echo de que existen unos 140 lenguajes de signos, con sus respectivos alfabetos y gesto, según la organización Ethnologue [1]. A demás, la mayoría de las personas que nacieron sin la capacidad de oír no saben leer.

3.1. Fundamentos de la enfermedad

3.1.1. Prestación clínica

Los trastornos en el habla afectan a las habilidades comunicativas y pueden ser desarrollarlas por personas de cualquier edad. Hay diferentes tipos, pero los más comunes son: [2]

- Tartamudeo: este trastorno provoca una interrupción en el flujo del habla, que puede ser a partir de repeticiones, bloqueos y/o prolongaciones. [3]
- Apraxia: en la cual la persona no es capaz de realizar acciones cuando se solicitan aunque los músculos requeridos funcionen. Suele ser debido a daños cerebrales, como: un tumor, demencia, una enfermedad neurodegenerativa, lesiones... [4]
- Disartria: en la cual los músculos que permiten el habla se debilitan o se paralizan impidiendo poder pronunciar palabras. La causa suele ser debido a daños cerebrales, tales como: lesiones, tumores, Parkinson, enfermedad degenerativa... [5]

Los síntomas de este trastorno dependen de la gravedad de este, pero en general suelen: repetir o prolongar sonidos, generar sonidos distorsionados, hablar con voz ronca, reorganizar sílabas, agregar sonidos o sílabas a las palabras...[3]

Las posibles causas son [2][3]: daño cerebral debido a un accidente cerebrovascular, cuerdas vocales dañadas, una enfermedad degenerativa como Huntington o Parkinson, cáncer de garganta o de boca, autismo, síndrome de Down, pérdida de la audición...

Hay ciertas características que pueden incrementar las probabilidades de sufrirlo, como pueden ser: [3]

- Nacer prematuramente.
- Nacer con un peso inferior a lo recomendado.
- Tener antecedentes familiares con este trastorno.
- Tener problemas en partes del cuerpo tales como: la nariz, el oído o la garganta.
- Pertenecer al sexo masculino.

TODO: falta la prestación clínica de las personas con discapacidad auditiva.

3.1.2. Problemas actuales

- Utilización de teléfonos móviles.
- Las pocas personas que hablan el lenguaje de los signos.
- COVID: las mascarillas impiden leer los labios.

3.2. Aproximaciones actuales

3.2.1. Proyectos realizados

Como se ha comentado, las personas sordo-mudas se enfrentan a diversos problemas, diariamente, ya que muchos de nuestros hábitos no están habilitados para ellos. Es por esto por lo que se han desarrollado diversas tecnologías para poder ayudar a ser una sociedad más inclusiva.

La primera se denomina *Vocalizer To Mute (V2M)*. Es una aplicación que tiene como objetivo facilitar la comunicación entre las personas no hablantes del lenguaje de signo y los sordomudos, especialmente los niños que lo sufren.

A partir de la voz de una persona, se analiza el mensaje que está transmitiendo y lo representa en el lenguaje de signos con la ayuda de un avatar en 3D. El reconocimiento de voz utiliza la técnica de MFCC (*Mel Frequency Cepstral Coefficients*), la cual permite obtener los componentes más significativos de la señal de audio para poder identificar el contenido relevante, obviando los componentes que aporta información. Se utiliza HTK (*Hidden Markov Model*

ToolKit) para poder convertir las señales de los sensores en frases.

3.2.2. Técnicas

3.2.3. Algoritmos de inteligencia artificial

3.2.4. Datos

4. Fundamentos

EXPLICAR:

- Redes neuronales: los diferentes tipos que hay (sobretodo la convolucional), sus diferencias, ventajas y desventajas. ¿Cuáles serían beneficiosas para este problema?
- Árboles de decisión: tipos (sobretodo el Gradient Boosting) y comparativa, ventajas y desventajas. ¿Cuáles serían beneficiosas para este problema?
- algoritmos de optimización utilizados en el experimento 5:
 - **SGD:**
 - **RMSprop:**
 - **Adagrad:**
 - **Adadelta:**
 - **Adam:**
 - **Adamax:**
 - **Nadam:**

Link útil: <https://ruder.io/optimizing-gradient-descent/>

- Network Weight Initialization: uniform, lecun uniform, normal, zero, glorot normal, glorot uniform, he normal y he uniform.
Link que pot ser útil: <https://keras.io/api/layers/initializers/>
- Funciones de activación: relu, softmax, softplus, softsign, tanh, sigmoid, hard_sigmoid y linear. Link: <https://towardsdatascience.com/activation-functions-neural-networks-1cbd9f8d91d6>
<https://machinelearningmastery.com/choose-an-activation-function-for-deep-learning/>
<https://www.v7labs.com/blog/neural-networks-activation-functions>
<https://medium.com/the-theory-of-everything/understanding-activation-functions-in-neural-networks-9491262884e0>

5. Hardware

A explicar:

- Mac
- Google collab (git)
- Jupyter notebook

Explicar que es cada cosa, ventajas y desventajas

6. Experimentación

El objetivo de este proyecto ha sido poder interpretar el lenguaje de signos y mostrar su significado en formato texto, a partir de imágenes. Para poder alcanzar este objetivo se han hecho diversas pruebas y experimentos.

6.1. Experimentación 1: Búsqueda del dataset

En la primera versión se ha utilizado un dataset de la comunidad de datos Kaggle. [6] Consiste en 37 gestos diferentes que representan el abecedario inglés, con las letras de la 'A' a la 'Z', los números del 0 al 9 y el carácter espacio. Cada gesto dispone de 1500 imágenes de 50x50 píxeles. Cada imagen está repetida, ya que hay dos versiones de la misma, una ya preprocesada con la intención de mejorar el entrenamiento y las pruebas de las redes neuronales, y otra versión con las imágenes originales en color. Se han utilizado las dos versiones para poder comparar sus resultados.

En la figura 1 se muestran diez imágenes que hacen referencia a diez gestos obtenidos del dataset de la segunda versión mencionada.



Figura 1: Imágenes obtenidas del dataset *Sign Language Gesture Images Dataset* [7] en color.

Como se puede contemplar en la figura 1, todas las imágenes han sido tomadas con un fondo de un mismo color, centrándose únicamente en la mano que realiza el gesto. La tonalidad de las imágenes cambia dependiendo del gesto, pero todas las imágenes que hacen referencia al mismo, contienen una tonalidad similar.

A continuación, en la figura 2, se muestran otras diez imágenes que hacen referencia a los mismos gestos que en la figura 1, pero estas han sido obtenidas de la primera versión mencionada.



Figura 2: Imágenes obtenidas del dataset *Sign Language Gesture Images Dataset* [7] preprocesadas con la intención de mejorar el entrenamiento de las redes neuronales.

En total, este dataset dispone de unas 55.500 imágenes, englobando las dos versiones.

6.2. Experimentación 2: Uso de redes neuronales

Una vez obtenido el dataset, se decidió empezar utilizando redes neuronales, ya que, como se ha podido apreciar en el estado del arte, es una de las soluciones más recomendadas y utilizadas para el reconocimiento de imágenes.

Se analizaron diferentes tipos de redes neuronales, como se especifica en los fundamentos, en el apartado 4,. Finalmente se decidió empezar por la implementación de una básica y de una convolucional, con el objetivo de poder comparar la precisión de cada una de ellas.

La red neuronal básica se implementó con una estructura de dos capas. Los datos de entrada, que son las imágenes pertenecientes al dataset ya especificado, son previamente procesados, para que sean de una dimensión de 150*150 píxeles. La última capa tienen una dimensión de 38 elementos.

FALTA EXPLICAR BASIC NN

En la figura que hay a continuación, se muestra el resultado del entrenamiento cuando se utiliza el dataset mencionado con las imágenes a color, pero antes de proceder con el entrenamiento son procesadas en blanco y negro, para disminuir el coste de memoria.

```

Model: "sequential"
-----
Layer (type)      Output Shape       Param #
=====
dense (Dense)     (None, 100)        2250100
=====
dense_1 (Dense)   (None, 38)         3838
=====
Total params: 2,253,938
Trainable params: 2,253,938
Non-trainable params: 0
-----
Epoch 1/10
304/304 [=====] - 28s 20ms/step - loss: 3.2980 - accuracy: 0.1572 - val_loss: 1.9880 - val_accuracy: 0.6661
Epoch 2/10
304/304 [=====] - 5s 18ms/step - loss: 1.7224 - accuracy: 0.6878 - val_loss: 1.1555 - val_accuracy: 0.8127
Epoch 3/10
304/304 [=====] - 5s 18ms/step - loss: 1.0269 - accuracy: 0.8228 - val_loss: 0.7742 - val_accuracy: 0.8527
Epoch 4/10
304/304 [=====] - 6s 18ms/step - loss: 0.6952 - accuracy: 0.8701 - val_loss: 0.5717 - val_accuracy: 0.8846
Epoch 5/10
304/304 [=====] - 5s 18ms/step - loss: 0.5093 - accuracy: 0.9025 - val_loss: 0.4581 - val_accuracy: 0.8943
Epoch 6/10
304/304 [=====] - 6s 18ms/step - loss: 0.4034 - accuracy: 0.9202 - val_loss: 0.3776 - val_accuracy: 0.9111
Epoch 7/10
304/304 [=====] - 5s 18ms/step - loss: 0.3270 - accuracy: 0.9351 - val_loss: 0.3146 - val_accuracy: 0.9299
Epoch 8/10
304/304 [=====] - 5s 18ms/step - loss: 0.2750 - accuracy: 0.9462 - val_loss: 0.2726 - val_accuracy: 0.9417
Epoch 9/10
304/304 [=====] - 5s 18ms/step - loss: 0.2344 - accuracy: 0.9549 - val_loss: 0.2399 - val_accuracy: 0.9505
Epoch 10/10
304/304 [=====] - 5s 18ms/step - loss: 0.2035 - accuracy: 0.9635 - val_loss: 0.2083 - val_accuracy: 0.9571

```

Figura 3: Resultado de la ejecución de la función *summary* con la red neuronal básica.

La red neuronal convolucional fue implementada a partir de cinco capas. La primera tiene dos dimensiones, los inputs son introducidos es una matriz de 150x150 píxeles. La última capa es de una única dimensión de 38 elementos.

FALTA EXPLICAR CNN

La figura que se muestra a continuación contiene el resultado del entrenamiento de la red neuronal convolucional que se acaba de especificar. El dataset utilizado es el que contiene las imágenes a color, pero igual que se ha hecho con la red neuronal básica, las imágenes han sido procesadas en blanco y negro, para disminuir el coste de memoria.

```

Model: "sequential"
-----
Layer (type)      Output Shape       Param #
-----
conv2d (Conv2D)    (None, 148, 148, 25)   250
-----
max_pooling2d (MaxPooling2D) (None, 148, 148, 25)   0
-----
flatten (Flatten) (None, 547600)        0
-----
dense (Dense)     (None, 100)          54760100
-----
dense_1 (Dense)   (None, 38)           3838
-----
Total params: 54,764,188
Trainable params: 54,764,188
Non-trainable params: 0
-----
Epoch 1/10
304/304 [=====] - 319s 1s/step - loss: 2.5943 - accuracy: 0.3136 - val_loss: 0.5930 - val_accuracy: 0.8491
Epoch 2/10
304/304 [=====] - 319s 1s/step - loss: 0.4330 - accuracy: 0.8983 - val_loss: 0.2760 - val_accuracy: 0.9010
Epoch 3/10
304/304 [=====] - 325s 1s/step - loss: 0.1851 - accuracy: 0.9567 - val_loss: 0.1389 - val_accuracy: 0.9611
Epoch 4/10
304/304 [=====] - 426s 1s/step - loss: 0.1037 - accuracy: 0.9755 - val_loss: 0.0895 - val_accuracy: 0.9888
Epoch 5/10
304/304 [=====] - 399s 1s/step - loss: 0.0639 - accuracy: 0.9863 - val_loss: 0.0563 - val_accuracy: 0.9880
Epoch 6/10
304/304 [=====] - 369s 1s/step - loss: 0.0375 - accuracy: 0.9934 - val_loss: 0.0423 - val_accuracy: 0.9895
Epoch 7/10
304/304 [=====] - 369s 1s/step - loss: 0.0266 - accuracy: 0.9961 - val_loss: 0.0450 - val_accuracy: 0.9864
Epoch 8/10
304/304 [=====] - 370s 1s/step - loss: 0.0192 - accuracy: 0.9967 - val_loss: 0.0307 - val_accuracy: 0.9940
Epoch 9/10
304/304 [=====] - 363s 1s/step - loss: 0.0157 - accuracy: 0.9972 - val_loss: 0.0171 - val_accuracy: 0.9974
Epoch 10/10
304/304 [=====] - 349s 1s/step - loss: 0.0090 - accuracy: 0.9998 - val_loss: 0.0143 - val_accuracy: 0.9978

```

Figura 4: Resultado de la ejecución de la función *summary* en la red neuronal convolucional.

Se han implementado tres nuevas estrategias para poder entrenar las redes neuronales especificadas. Estas estrategias permiten guardar los modelos que se utilizan, facilitando la ejecución con diferentes datasets y modelos de redes neuronales, no teniendo que ejecutar de nuevo el procesamiento de las imágenes y el entrenamiento en cada cambio que se realice en el código.

El inconveniente de tener el proyecto separado en estrategias es que se genera un aumento en el coste de memoria, ya que se necesita guardar los cambios realizados en archivos para poder utilizarlos en la siguiente ejecución.

Las estrategias implementadas son:

- **SaveDatabase:** tiene como objetivo procesar el dataset, transformándolo al formato adecuado: cambiando el tamaño y el color de cada imagen. Una vez se han hecho las modificaciones pertinentes, se guarda el modelo en un archivo denominado pickle, con extensión *.pkl*.

De cada dataset se generarán dos pickels, uno con las imágenes de training y otro con las de testing. Con el dataset con el que estamos trabajando actualmente, en la versión de las imágenes a color, el pickle de testing

tiene un tamaño de 3 GB y el de training de 6,99 GB, 9,99 GB en total.

En la tabla que se muestra a continuación se puede apreciar la comparación de los tamaños de las dos versiones del dataset cuando se guardan en un directorio, tal y como se descargaron de Kaggle [7], respecto al tamaño del archivo pickel.

	Tamaño directorio	Tamaño pickel
Dataset en color	106,7 MB	9,99 GB
Dataset preprocesado	81,6 MB	9.99 GB

Tabla 1: Comparativa del tamaño del dataset cuando se guardan las imágenes en un directorio, o bien cuando se utiliza un pickel.

Como se puede apreciar en la tabla 1, el archivo pickel tiene un tamaño mayor que el propio dataset, pero aún así es beneficioso ya que su lectura es mucho más rápida y nos permite no tener que procesar los datos en cada ejecución. En futuros experimentos se intentará reducir este tamaño con la intención de poder disminuir el coste de memoria.

En la tabla 2, se muestra el coste temporal de la ejecución de esta estrategia. Se puede apreciar como es un tiempo reducido, no llega a los cinco minutos, y es independiente del tipo de procesado. Su diferencia es del orden de segundos, lo que puede variar por cada ejecución.

	Tiempo ejecución
Dataset en color	00:03:01 horas
Dataset preprocesado	00:03:56 horas

Tabla 2: Comparativa del tiempo de ejecución de la estrategia SaveDatabase utilizando dos modelos con diferente procesado.

- **TrainNeuralNetwork:** esta estrategia tiene como objetivo entrenar la red neuronal y guardar el modelo en un archivo con extensión *h5*. Para poder ejecutarla se necesita especificar el tipo de red neuronal que se quiere utilizar. Actualmente hay dos posibilidades: la red neuronal básica y la convolucional. Otro parámetro que también se debe especificar es el pickel con el que se entrenará la red neuronal.

El modelo se guardará en el archivo *h5* con la intención de poder utilizarlo en otras estrategias, como la que se explicará a continuación, sin tener que volver a entrenarla para poder trabajar con este modelo.

El tamaño de este archivo depende del tipo de red neuronal utilizada, en este caso el modelo de la básica tiene un tamaño de 27,1 MB, y la convolucional de 657,2 MB, independientemente del pickle utilizado. Esta información se muestra de una forma más gráfica en la tabla 3:

	Tamaño modelo red neuronal básica	Tamaño modelo red neuronal convolucional
Dataset en color	27,1 MB	657,2 MB
Dataset preprocesado	27,1 MB	657,2 MB

Tabla 3: Tamaño del archivo *h5* por los dos tipos de redes neuronales con los dos datasets que se están utilizando actualmente.

El tiempo de ejecución de esta estrategia varía mucho dependiendo del tipo de red neuronal que se esté entrenando y del pickle seleccionado. La red neuronal convolucional puede llegar a tardar alrededor de una hora más que la básica, como se muestra en la tabla que hay a continuación:

	Tiempo entreno red neuronal básica	Tiempo entreno red neuronal convolucional
Dataset en color	00:05:54 horas	00:55:45 horas
Dataset preprocesado	00:03:29 horas	01:00:16 hora

Tabla 4: Tiempo de ejecución de la estrategia de *TrainingNeuralNetwork* dependiendo del dataset y del tipo de red neuronal.

- **AccuracyNeuralNetwork:** Una vez entrenada la red neuronal, se habrá creado un archivo *h5* donde se habrá guardado el modelo entrenado. Esta estrategia procesa el modelo guardado e intenta hacer las predicciones con la parte del dataset definida para el testing, una vez tiene el resultado lo analiza para poder comprobar el número de aciertos. El resultado se mostrará por el terminal.

En la siguiente tabla se muestra una comparativa del *accuracy* entre las diferentes versiones del dataset: la original y la preprocesada con las dos redes neuronales implementadas.

	<i>Accuracy</i> red neuronal básica	<i>Accuracy</i> red neuronal convulacional
Dataset en color	72.27 %	34.46 %
Dataset preprocesado	100 %	99.96 %

Tabla 5: Comparativa del *accuracy* de los dos tipos de redes neuronales dado dos modelos con diferente procesado.

Como se aprecia en la tabla 5, la red neuronal básica tiene una *accuracy* mas elevada en los dos Dataset, con lo que se han deducido dos posibilidades:

- No se están introduciendo suficientes datos en la red neuronal convulacional para poder hacer un buen entrenamiento, ya que este tipo de redes necesitan muchos datos para poder aprovechar todo su potencial.
- La configuración con los que se han implementado la red neuronal convulacional no son las más adecuadas para este dataset.

En cuanto al tiempo de ejecución de esta estrategia, si que se encuentra diferencia entre el tipo de red neuronal, pero su duración no llega al minuto, como se muestra la tabla que hay a continuación:

	Tiempo accuracy red neuronal básica	Tiempo accuracy red neuronal convulacional
Dataset en color	11 segundos	48 segundos
Dataset preprocesado	15 segundos	43 segundos

Tabla 6: Tiempo de ejecución de la estrategia de *AccuracyNeuralNetwork* dependiendo del dataset y del tipo de red neuronal.

En futuros experimentos se comprobará si las suposiciones que se han mencionado son acertadas o no, con la intención de mejorar la *accuracy* de las dos redes neuronales.

Una vez analizadas cada una de estas estrategias, podemos comparar el coste global, tanto de memoria como de tiempo. En la siguiente tabla se muestra la suma de los costes de memoria que ha habido en las tres estrategias, dependiendo del dataset y del tipo de red neuronal.

	Coste memoria red neuronal básica	Coste memoria red neuronal convolucional
Dataset en color	10,02 GB	10,65 GB
Dataset preprocesado	10,02 GB	10,65 GB

Tabla 7: Comparativa del coste de memoria en las tres estrategias entre los dos tipos de redes neuronales, dado dos modelos con diferente procesado.

El coste de memoria ha sido calculado a partir de la suma de los archivos que se generan en cada estrategia. En concreto, la suma del tamaño del pickle y del archivo que contiene el modelo entrenado de la red neuronal. Como conclusión, se puede observar como el dataset no supone una diferenciación en el coste de memoria, ya que los pickels tienen el mismo tamaño con los dos procesados. Lo que provoca la diferencia entre los dos tipos de red neural, es el archivo *h5* que se genera una vez ha sido entrenada y que tiene un tamaño mayor en la convolucional, como queda reflejado en la tabla 7.

En la siguiente tabla se muestra el coste de tiempo de las tres estrategias, sumando el tiempo de ejecución de cada una de ellas, dependiendo del dataset y de la red neuronal utilizada.

	Coste tiempo red neuronal básica	Coste tiempo red neuronal convolucional
Dataset en color	00:09:06 horas	00:59:34 horas
Dataset preprocesado	00:07:40 horas	01:04:55 hora

Tabla 8: Comparativa del coste de tiempo en las tres estrategias entre los dos tipos de redes neuronales, dado dos modelos con diferente procesado.

En la tabla 8 se puede observar como hay una diferencia abismal entre el coste del tiempo de ejecución de la red neuronal básica a la convolucional, prácticamente la diferencia es de una hora. Con el coste de tiempo sucede lo mismo que con el coste de memoria, es indiferente el dataset utilizado. La razón de esto, es que al final hay el mismo número de datos, únicamente cambia el tipo de procesado, el dataset que originalmente es en color, ha sido transformado para poder trabajar en tonalidades grises, demostrando así que no hay un coste adicional de memoria utilizado para guardar la información del color.

En cuanto a la conclusión de la implementación de las redes neuronales, se ha observado, en la tabla 5, como la red neuronal básica ha dado mejores resultados que la convolucional, y como el procesado del dataset ha significado un mejora inimaginable en los dos tipos de redes. Esta información se tendrá en cuenta cuando se vaya a utilizar un dataset diferente al actual.

Durante la explicación de cada estrategia se han contemplado diferentes me-

joras que se llevarán a cabo en futuras experimentaciones, con la intención de poder obtener el mejor resultado con el mínimo coste posible de las redes neuronales.

6.3. Experimentación 3: Uso de árboles de decisión

Una vez se han obtenido resultados y conclusiones de las redes neuronales, se ha decidido experimentar con otro tipo de estructuras, como son los árboles de decisión.

Como se muestra en los fundamentos, en el apartado 4, se han analizado diferentes tipos de arboles de decisión. Pero se acabó decidiendo por implementar un Boosted Tree.

EXPLICACIÓN DE LA ELECCIÓN DEL BOOSTED TREE

Se ha utilizado la librería xgboost para poder llevar a cabo la implementación, de donde se ha utilizado la clase XGBClassifier. La imagen que hay a continuación muestra como se ha hecho uso de esta librería para entrenar el árbol de decisión:

```
xgboost_model = XGBClassifier()
xgboost_model.fit(x_train, y_train, verbose=True, eval_set=[(x_test, y_test)])
```

Figura 5: Uso de la librería xgboost en la implementación del boosted decision tree.

Se ha entrenado el árbol de decisión con los dos mismos datasets con los que se han entrenado las redes neuronales, con la intención de poder comparar la *accuracy* final entre las dos estructuras.

Para poder llevar a cabo este entrenamiento se han implementado dos nuevas estrategias, con el mismo objetivo que con las redes neuronales: poder separar la ejecución del entrenamiento de la ejecución de la predicción, con tal de no tener que entrenarlo cada vez que se quiera hacer una predicción. Las estrategias creadas son:

- **TrainDecisionTree:** Esta estrategia tiene el objetivo de entrenar el árbol de decisión dado un pickle que contendrá el dataset con el que se quiere trabajar.

Una vez entrenado, se guardará el modelo en un archivo con extensión *.pickle.dat*, el cual nos permitirá recuperar dicho modelo para utilizarlo en otras estrategias.

En la siguiente tabla, referenciada con el número 9, se muestra el coste de memoria que genera el archivo donde se guarda el modelo entrenado del árbol de decisión. Como se puede apreciar, EXPLICAR RESULTADOS, COMPARATIVA ENTRE AMBOS TAMAÑOS.

Tamaño del modelo del árbol de decisión	
Dataset en color	1,1 MB
Dataset preprocessado	2,2 MB

Tabla 9: Comparativa del coste de memoria en la estrategia *TrainDecisionTree*, dado dos modelos con diferente procesado.

Para poder evaluar la eficiencia de este modelo predictivo también se debe tener en cuenta el coste de tiempo en su entrenamiento. Como podemos ver en la tabla 10, el tiempo de ejecución mínimo de esta estrategia es de prácticamente cuatro horas, tres horas más que con la red neuronal, como se comparará más adelante. También podemos apreciar que no hay mucha diferencia entre el tiempo de entrenamiento de ambos datasets analizados, pero debemos recordar que ambos pickels, estructura donde se guardan los datasets, tienen el mismo tamaño. ASEGURARSE DE QUE EL TIEMPO ES SIMILAR

Tiempo ejecución del entrenamiento del árbol de decisión	
Dataset en color	03:35:45 horas
Dataset preprocessado	02:07:53 horas

Tabla 10: Comparativa del coste de tiempo en la estrategia *TrainDecisionTree*, dado dos modelos con diferente procesado.

- **AccuracyDecisionTree:** La segunda estrategia que se ha implementado para poder utilizar el aprendizaje basado en árboles de decisión tiene como objetivo mostrar el *accuracy* del modelo entrenado. Se especificará el modelo que se quiere utilizar, el cual será el archivo con extensión *.pickle.dat* que esta estrategia procesará. Una vez se haya leído el modelo se hará una predicción con todos los datos de testing del dataset seleccionado, el cual deberá ser el mismo con el que se hizo el entrenamiento. El tanto por ciento de aciertos se mostrarán por el terminal, informando así del *accuracy* del modelo.

En la tabla 11 se muestran los resultados de esta estrategia, comparando la *accuracy* de los dos modelos entrenados con los dos datasets con los que

se han hecho todos los experimentos hasta el momento.

<i>Accuracy</i> del árbol de decisión	
Dataset en color	100 %
Dataset preprocesado	100 %

Tabla 11: Comparativa de la *accuracy* del árbol de decisión, dado dos modelos con diferente procesado.

Como se muestra en la tabla 11, se obtiene una *accuracy* máxima con ambos datasets, lo que muestra que con este tipo de aprendizaje se llegan a obtener resultados muy óptimos para las condiciones del problema actual que se intenta resolver.

Esta estrategia también muestra, en formato de imagen, la estructura predictiva del árbol de decisión. La estructura definida a partir del dataset a color se muestra en el anexo A.1 y la estructura definida a partir del dataset optimizado, el que ha estado preprocesado con anterioridad, se muestra en el anexo A.2.

EXPLICACIÓN IMÁGENES PLOT

En cuanto a los costes de esta estrategia, nos centraremos en el coste de tiempo ya que no se genera ningún archivo adicional que pudiese incrementar el coste de memoria, el único coste significativo que hay es el propio coste de ejecución.

Se ha ejecutado esta estrategia dos veces, una por cada dataset con el que estamos trabajando, la duración de cada ejecución se muestra en la tabla 12:

Tiempo ejecución del <i>accuracy</i> del árbol de decisión	
Dataset en color	00:00:23 horas
Dataset preprocesado	00:00:20 horas

Tabla 12: Comparativa del coste de tiempo en la estrategia *AccuracyDecision-Tree*, dado dos modelos con diferente procesado.

Se puede apreciar como el tiempo de ejecución de esta estrategia es mínimo con ambos datasets. Se han obtenido muy buenos resultados con este

método de aprendizaje: una *accuracy* del 100 % con un tiempo de predicción de unos 20 segundos.

Una vez analizadas las dos estrategias, podemos comparar el coste global de tiempo, ya que el coste de memoria únicamente se ha mencionado el de la primera estrategia, por lo tanto el coste global de memoria será el mismo que el de la estrategia de *TrainDecisionTree*.

En la siguiente tabla se muestra la suma de los costes de tiempo que ha habido en las dos estrategias, dependiendo del dataset utilizado.

Coste tiempo del árbol de decisión	
Dataset en color	1,1 MB
Dataset preprocesado	2,2 MB

Tabla 13: Comparativa del coste de tiempo en el uso del árbol de decisión como modelo de predicción dado dos modelos con diferente procesado.

El coste de tiempo ha sido calculado a partir de la suma de los tiempos de ejecución de ambas estrategias. El alto valor de este coste es debido a la primera estrategia, que es la causante de este incremento, la segunda estrategia tenía un coste del orden de segundos. Esto demuestra que el entrenamiento de un árbol de decisión es mucho más costoso que su predicción, deberemos comprobar si, para el problema que queremos resolver en este proyecto, nos puede afectar este coste tan elevado o si es despreciable.

6.4. Comparativa de las experimentaciones 2 y 3

Una vez explicada la experimentación de los árboles de decisión, se puede hacer la comparativa entre los resultados de estos y los de las redes neuronales.

Para poder realizar una comparativa adecuada se deberán utilizar los parámetros que se han ido estudiando durante las experimentaciones: la *accuracy* y los costes, tanto de tiempo como de memoria.

En la tabla 14 se puede apreciar la comparación de la *accuracy* entre las tres estructuras implementadas: la red neuronal básica, la red neuronal convolucional y el árbol de decisión. Se han utilizado los dos datasets con los que se ha estado trabajando en ambos experimentos.

	<i>Accuracy</i> red neuronal básica	<i>Accuracy</i> red neuronal convolucional	<i>Accuracy</i> árbol de decisión
Dataset en color	72,27 %	34,46 %	100 %
Dataset preprocesado	100 %	99,96 %	100 %

Tabla 14: Comparativa de la *accuracy* entre las estructuras implementadas dado dos modelos con diferente procesado.

Podemos apreciar cómo al árbol de decisión es el que tiene una mejor *accuracy*, ya que su valor es del 100 % con ambos datasets. Otra conclusión que podemos obtener es que todas las estructuras tienen un precisión muy elevada cuando se utiliza el dataset específicamente procesado para favorecer el entrenamiento.

En cuanto al coste de tiempo, compararemos la duración de la ejecución del entrenamiento y de la predicción por separado. En la tabla 15 se pueden ver la duración del entrenamiento en la red neuronal básica, la convolucional y el árbol de decisión, estos valores se han obtenido de las tablas: 4 y 10.

	Duración red neuronal básica	Duración red neuronal convolucional	Duración árbol de decisión
Dataset en color	00:05:54 horas	00:55:45 horas	03:35:45 horas
Dataset preprocesado	00:03:29 horas	01:00:16 hora	02:07:53 horas

Tabla 15: Comparativa de la duración del entrenamiento entre las estructuras implementadas dado dos modelos con diferente procesado.

En la tabla 16, se muestra una comparativa de la duración de las predicciones entre la red neuronal básica, la convolucional y el árbol de decisión. Estos valores han sido obtenidos de las tablas: 6 y 12.

	Duración red neuronal básica	Duración red neuronal convolucional	Duración árbol de decisión
Dataset en color	00:00:11 horas	00:00:48 horas	00:00:23 horas
Dataset preprocesado	00:00:15 horas	00:00:43 horas	00:00:20 horas

Tabla 16: Comparativa de la duración de la predicción entre las estructuras implementadas dado dos modelos con diferente procesado.

Comparando los valores mostrados en las dos tablas, podemos observar como el árbol de decisión es el que más se deriva, ya que su duración de entrenamiento llega prácticamente a triplicar el de las redes neuronales. En cuanto a la duración de las predicciones, todos tienen una duración del orden de segundos, siendo la red neuronal convolucional la que mas se acerca al minuto.

Podemos deducir entonces, que el árbol de decisión es el que nos proporciona una mejor *accuracy*, pero nos genera un mayor coste. En futuras experimentaciones se intentaran mejorar los valores de la red neuronal convolucional, ya que hay diversos parámetros que pueden incrementar su *accuracy* y que podrían obtenerse con un coste menor al árbol de decisión.

6.5. Experimentación 4: Incremento dataset

El dataset que se ha utilizado durante las anteriores experimentaciones disponía de 27.750 muestras, 55.500 en total con los dos datasets con diferente procesado. Con este número de muestras se puede obtener muy buenos resultados, pero aún serían mejores si se utilizaran dos datasets diferentes, ya que el ángulo, el color y la forma de la imagen abarcarían mas posibilidades. Conseguiríamos así una accuracy mejor para cuando se hagan predicciones con imágenes que no pertenezcan al testing del mismo dataset.

Se han evaluado varios datasets, buscando uno que contenga los mismo gestos que el actual pero con un enfoque diferente en los datos. Los enlaces que se muestran a continuación contienen los datasets que se han estado evaluando. Como se puede apreciar, todos pertenecen a la comunidad de datos Kaggle [6].

- <https://www.kaggle.com/kareemalaa74/dataset-asl-test-and-train>
- <https://www.kaggle.com/grassknotted/asl-alphabet>
- <https://www.kaggle.com/lucasvieirademiranda/aslalphabet>
- <https://www.kaggle.com/ammarnassanalhajali/american-sign-language-letters>

Finalmente se ha optado por escoger el primer enlace mostrado:

<https://www.kaggle.com/kareemalaa74/dataset-asl-test-and-train>

Los motivos de esta elección han sido:

- Dispone de los gestos que hacen referencia a los números. La mayoría de los otros datasets únicamente contenían letras, con lo que se debería de haber utilizado dos dataset, uno para las letras y otro para los números.
- Las imágenes de este dataset han sido tomadas desde diferentes ángulos que las del actual dataset.
- Las imágenes no se han tomado con un fondo de un mismo color, como pasa con el dataset actual, sino que se han realizado con diferentes fondos.

El nuevo dataset tiene como nombre: *Dataset ASL test and train* y se ha obtenido de la comunidad de datos Kaggle [6]. Dispone de los mismos gestos que el dataset *Sign Language Gesture Images Dataset* [7], pero este, adicionalmente, contiene el número 10. Cada gesto dispone de 300 imágenes, 301 con la imagen de test, con unas dimensiones de 1500×1500 píxeles.

A continuación, se muestra una comparativa del dataset que se ha estado utilizando, con el nuevo que se va a añadir al actual. Las imágenes 6 y 7 hacen referencia al dataset actual. Son las mismas imágenes que se mostraron y explicaron en la experimentación de la búsqueda del dataset, en la sección 6.1.



Figura 6: Imágenes obtenidas del dataset *Sign Language Gesture Images Dataset* [7] en color.



Figura 7: Imágenes obtenidas del dataset *Sign Language Gesture Images Dataset* [7] preprocessadas con la intención de mejorar el entrenamiento de las redes neuronales.

La imagen 8 muestra diez gestos del dataset *Dataset ASL test and train* [8]. Hace referencia a los mismos gestos que las imágenes 6 y 7, se han situado en el mismo orden para facilitar su comparación. Se puede apreciar como cumple las características explicadas anteriormente del porque se ha seleccionado este dataset.

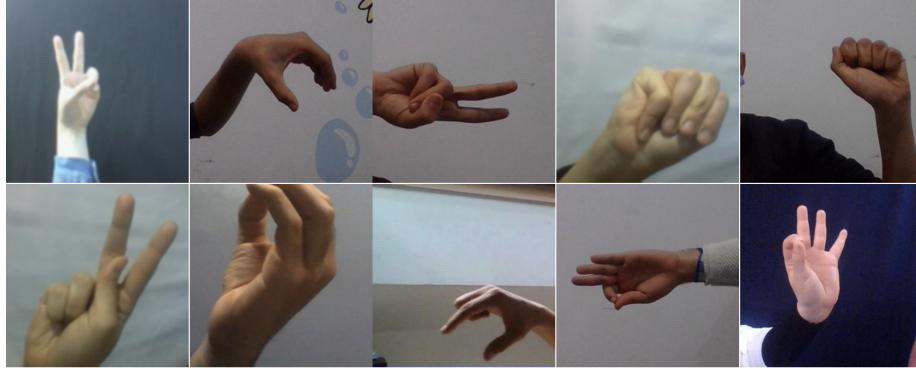


Figura 8: Imágenes obtenidas del dataset *ASL test and train* [8].

Se ha realizado dos experimentaciones con este dataset: usándolo individualmente, y añadiendo las muestras del dataset *Sign Language Gesture Images* [7]. La intención de esto es poder saber la accuracy y los costes de ambos datasets por separado, y poder compararlo con los valores que nos dan estas características cuando se utilizan a la par.

Para poder realizar la segunda experimentación, se han tenido que implementar unos cambios en el proyecto, ya que hasta ahora no se podía seleccionar más de un dataset. Se ha pensado la mejor solución para este problema, y se han acabado encontrado dos posibles implementaciones:

- Permitir seleccionar más de un dataset en la creación de un pickel, en la estrategia *SaveDatabase*, con lo que en las otras estrategias no sería necesario realizar ningún cambio, ya que seguiría utilizando únicamente un pickel.
- En un pickel únicamente se puede almacenar un dataset, no teniendo que cambiar esta estrategia. El cambio se debería realizar en las otras estrategias, ya que estas deberían permitir seleccionar tantos pickels como el usuario desee.

Finalmente se optó por implementar la segunda opción. A pesar de tener que realizar más cambios en el proyecto actual, ya que prácticamente se debía cambiar la estructura de todas las estrategias, se pensó que, en cuanto a coste de memoria, sería mejor tener un único pickel por dataset, que no tener diferentes pickels con variaciones del mismo dataset. Como se ha comentado anteriormente en la tabla 1, un pickel tiene un tamaño del orden de gigabytes.

Una vez realizados los cambios convenientes para poder utilizar más de un pickel en una estrategia, se ejecutó el proyecto para poder averiguar la *accuracy*

de este nuevo dataset.

A continuación, se compararan los resultados y el coste de las ejecuciones de las tres siguientes combinaciones de datasets:

- Con el dataset *Sign Language Gesture Images* [7], que hace referencia a la imagen 6.
- Con el nuevo dataset, *ASL test and train* [8], mostrado en la imagen 8.
- Combinando ambos datasets.

Los tres tablas, que hay a continuación, referenciadas con los números: 17, 18 y 18, muestran la comparativa de las tres combinaciones de datasets que se acaban de explicar. La tabla 17 contiene la información de la accuracy de la red neuronal básica, la convolucional y el árbol de decisión, estas tres estructuras serán las que se van a ir comparando con las combinaciones de datasets.

	Dataset Sign Language Gesture Images	Dataset ASL test and train	Combinación de ambos datasets
<i>Accuracy</i> red neuronal básica	72,27 %	33,85 %	2,88 %
<i>Accuracy</i> red neuronal convolucional	34,46 %	98,95 %	99,30 %
<i>Accuracy</i> árbol de decisión	100 %	100 %	—

Tabla 17: Comparativa de la *accuracy* de las tres estructuras implementadas dado dos datasets y una combinación de ambos.

La tabla 18 compara el tiempo de ejecución de los entrenamientos entre las diferentes estructuras. El formato de la tabla es el mismo que el anterior, facilitando así la lectura de la información de ambas tablas y pudiendo compararlas a la vez.

	Dataset Sign Language Gesture Images	Dataset ASL test and train	Combinación de ambos datasets
Tiempo entreno red neuronal básica	00:05:54 horas	00:01:01 horas	00:12:09 horas
Tiempo entreno red neuronal convolucional	00:55:45 horas	00:27:51 horas	01:35:02 horas
Tiempo entreno árbol de decisión	03:35:45 horas	03:38:52 horas	–

Tabla 18: Comparativa del tiempo de entrenamiento de las tres estructuras implementadas dado dos datasets y una combinación de ambos.

Por último, la tabla 19, muestra la comparativa del tiempo de ejecución de las predicciones.

	Dataset Sign Language Gesture Images	Dataset ASL test and train	Combinación de ambos datasets
Tiempo predicción red neuronal básica	00:00:11 horas	00:00:04 horas	00:00:41 horas
Tiempo predicción red neuronal convolucional	00:00:48 horas	00:00:24 horas	00:01:43 horas
Tiempo predicción árbol de decisión	00:00:23 horas	00:00:10 horas	–

Tabla 19: Comparativa del tiempo de predicción de las tres estructuras implementadas dado dos datasets y una combinación de ambos.

Como se ha podido contemplar, en la tabla no se muestran los resultados de las combinaciones de ambos datasets utilizando el árbol de decisión como modelo de predicción. El motivo es que no se pudo acabar de realizar la ejecución de su entrenamiento, después de 24h únicamente se había completado el 30 %. Por lo tanto, si no hubiese ningún problema durante la ejecución, como podría ser un coste de memoria superior al que el dispositivo podría soportar, el tiempo total hubiese sido de 80 horas, 3,33 días. Se paró la ejecución en el 30 % ya que se dedujo que este tiempo de entrenamiento era inviable bajo las características en las que se está realizando este proyecto.

Hasta el momento, el árbol de decisión era una solución que nos estaba aportando un *accuracy* muy elevada, a pesar de tener el tiempo de entrenamiento más alto. Pero viendo que no es capaz de proceder con el entrenamiento de ambos datasets, cuando tenemos otras estructuras implementadas que también dan muy buenos resultados con un tiempo de entrenamiento asumible, se ha decidido descartar este modelo de predicción.

En cuanto a la red neuronal básica, podemos apreciar como esta dispone del tiempo de ejecución más reducido en, prácticamente, todas las ejecuciones. Aún así, en la tabla 17 se muestra como disminuye la *accuracy* hasta el 2,88 % cuando se utilizan ambos datasets. Se realizaron varias ejecuciones para poder asegurar que este valor no variaba, pero la *accuracy* de todas estas ejecuciones no varió, la máxima desviación fue de una unidad.

Con estos resultados podemos verificar que la red neuronal básica no es un modelo fiable en este proyecto, por lo tanto, no se puede utilizar como solución a este problema.

Por último, la red neuronal convolucional dio una *accuracy* del 99,30 %, un valor muy elevado y totalmente valido para la solución. Su tiempo de ejecución en el entrenamiento es mas elevado que el de la red neuronal básica, pero es un tiempo asequible. Se concluye que este modelo es el óptimo de los implementado hasta ahora.

6.6. Experimentación 5: Mejorar rendimiento de la CNN

Como se ha demostrado en la sección 6.5, la estructura implementada con la que se han obtenido los mejores resultados, tanto de rendimiento como de costes, ha sido la red neuronal convolucional.

Todos los experimentos que se hagan a partir de ahora se realizarán con la unión de los datasets y con la red neuronal convolucional.

Aún haber obtenido muy buenos resultados con esta red neuronal, en esta sección se intentará acotar sus parámetros para poder obtener el mayor rendimiento con las mínimas pérdidas. Se ha utilizado la librería Scikit-learn [9] para poder implementar la estrategia que realizará la comparativa de parámetros. La nueva estrategia implementada se denomina: *Hyperparameter Optimization Strategy*

Se ha seguido el artículo de *Grid search hyperparameters deep learning models python keras* [10] para la implementación de este experimento. Se ha utilizado como guía y modelo, pero se ha modificado y adaptado a las necesidades del actual problema.

Se comenzó haciendo las pruebas con todos los datos de ambos datasets, se estaba haciendo una estimación del valor que deberían asignarse al tamaño del *Batch* y el número de *Epochs*. Ejecutando el training de la red neuronal convolucional con estos parámetros variables, se comprobó que no era posible realizar la ejecución con todos los datos. Después de cuatro días ejecutándose, cuando se calculaba que aún faltaba el doble de tiempo, como mínimo, para finalizar su ejecución, el dispositivo se quedó sin espacio de memoria y tuvo que interrumpirla.

Como solución, se implementó una modificación en el proyecto. En lugar de leer todos los datos de los *Pickels*, archivos donde se almacenan las imágenes procesadas, únicamente se obtienen 20 imágenes de cada señal. Consiguiendo así disminuir el tiempo de entrenamiento de la red neuronal. Los cambios en el código han sido notorios, ya que se ha tenido que implementar una nueva funcionalidad donde se pudiesen obtener el mismo número de imágenes por cada señal, la reducción del dataset debía continuar siendo óptima.

La estrategia *Hyperparameter Optimization Strategy* consta de siete atributos a optimizar, el cual se especifica en los parámetros de la ejecución de esta. A continuación se explicará cada atributo y los resultados obtenidos de este.

6.6.1. Tamaño del *Batch* y número de *Epochs*

Para la realización de este entrenamiento, se ha utilizado el mismo modelo que el implementado en la red neuronal convolucional, ya que es el que se busca mejorar. En esta ejecución se optimizan los siguientes atributos:

- El tamaño del *Batch*, el cual define la cantidad de datos con los que trabajar.
- El número de *Epochs* que define el número de veces que el algoritmo de aprendizaje se ejecutará por cada conjunto de datos de entrenamiento.

El parámetro que se debe introducir para poder ejecutar la estrategia optimizando estos atributos es ”*batch_and_epoch*”.

Los parámetros utilizados para el clasificador se muestran en la imagen 9.

```
@staticmethod
def __get_parameters_for_batch_epochs(n_classes, image_size):
    batch_size = [10, 20, 40, 60, 80, 100]
    epochs = [10, 50, 100]

    param_grid = dict(batch_size=batch_size, epochs=epochs, num_classes=[n_classes], image_size=[image_size])
    classifier = KerasClassifier(build_fn=create_model_batch_epochs, verbose=2)

    return param_grid, classifier
```

Figura 9: Parámetros evaluados en la ejecución de la estrategia *Hyperparameter Optimization Strategy* con el parámetro ”*batch_and_epoch*”

El tamaño del *Batch* se ha evaluado con los valores: 10, 20, 40, 60, 80 y 100. En cambio, el parámetro del número de *Epochs* es menos variado, ya que oscila entre los valores: 10, 50 y 100.

La imagen 10 muestra los resultados de esta ejecución. La mejor combinación de parámetros es de un tamaño del *Batch* y un número de *Epochs* igual a 10.

```

Best: 1.000000 using {'batch_size': 10, 'epochs': 10}
1.000000 (0.000000) with: {'batch_size': 10, 'epochs': 10}
1.000000 (0.000000) with: {'batch_size': 10, 'epochs': 50}
1.000000 (0.000000) with: {'batch_size': 10, 'epochs': 100}
1.000000 (0.000000) with: {'batch_size': 20, 'epochs': 10}
1.000000 (0.000000) with: {'batch_size': 20, 'epochs': 50}
1.000000 (0.000000) with: {'batch_size': 20, 'epochs': 100}
1.000000 (0.000000) with: {'batch_size': 40, 'epochs': 10}
1.000000 (0.000000) with: {'batch_size': 40, 'epochs': 50}
1.000000 (0.000000) with: {'batch_size': 40, 'epochs': 100}
1.000000 (0.000000) with: {'batch_size': 60, 'epochs': 10}
1.000000 (0.000000) with: {'batch_size': 60, 'epochs': 50}
1.000000 (0.000000) with: {'batch_size': 60, 'epochs': 100}
1.000000 (0.000000) with: {'batch_size': 80, 'epochs': 10}
1.000000 (0.000000) with: {'batch_size': 80, 'epochs': 50}
1.000000 (0.000000) with: {'batch_size': 80, 'epochs': 100}
1.000000 (0.000000) with: {'batch_size': 100, 'epochs': 10}
1.000000 (0.000000) with: {'batch_size': 100, 'epochs': 50}
1.000000 (0.000000) with: {'batch_size': 100, 'epochs': 100}
[INFO]: Strategy executed successfully
[INFO]: Execution finished
[INFO]: The duration of the execution has been 02:55:57 [hh:mm:ss]

```

Figura 10: Resultado de la ejecución de la estrategia *Hyperparameter Optimization Strategy* con el parámetro ”batch_and_epoch”

Podemos apreciar como todos las combinaciones tienen el mismo resultado, un *accuracy* del 100 % sin ninguna pérdida. Se utilizará el resultado que se muestra como el mejor, con un valor de 10 en ambos atributos. Aún así, teniendo como objetivo únicamente la *accuracy*, se podría utilizar cualquiera de las combinaciones probadas y se obtendría el mismo resultado.

Esta ejecución ha tenido un coste de tiempo de 2 horas, 55 minutos y 57 segundos. Es un tiempo muy reducido comparado con el de la primera ejecución, cuando se utilizó todo el dataset. Como se ha comentado anteriormente, este se estuvo ejecutando durante cuatro días cuando se paró su ejecución sin haber llegado a la mitad de esta. Con las modificaciones realizadas en el proyecto y estimando el tiempo total de ejecución con el dataset completo, se ha conseguido reducir un 98,44 % el coste del tiempo de ejecución.

Los valores obtenidos en este experimento se utilizarán en las optimizaciones de los siguientes atributos.

6.6.2. Algoritmos de optimización

Una vez obtenidos los mejores valores para los atributos del tamaño del *Batch* y el número de *Epochs*, se ha querido evaluar cual sería el algoritmo de entrenamientos más óptimo.

Para poder implementar esta funcionalidad se ha utilizado la estrategia, comentada anteriormente, *Hyperparameter Optimization Strategy*. Para poder ejecutar esta optimización se debe introducir el parámetro ”*optimization_algorithms*”.

En la imagen número 11, se muestran los parámetros introducidos en este clasificador. Los algoritmos con los que se han hecho las comparaciones son: *SGD*, *RMSprop*, *Adagrad*, *Adadelta*, *Adam*, *Adamax* y *Nadam*. Las principales características de estos algoritmos están explicados en los fundamentos, en el apartado 4.

```
@staticmethod
def __get_parameters_for_optimization_algorithm(n_classes, image_size):
    optimizer = ['SGD', 'RMSprop', 'Adagrad', 'Adadelta', 'Adam', 'Adamax', 'Nadam']

    param_grid = dict(optimizer=optimizer, num_classes=[n_classes], image_size=[image_size])
    classifier = KerasClassifier(build_fn=create_model_optimizer_algorithm, epochs=EPOCHS, batch_size=BATCH_SIZE,
                                 verbose=2)

    return param_grid, classifier
```

Figura 11: Parámetros evaluados en la ejecución de la estrategia *Hyperparameter Optimization Strategy* con el parámetro ”*optimization_algorithms*”

Como se muestra en la imagen anterior, los valores del tamaño del *Batch* y el número de *Epochs* son constantes, ya que adquieren el valor del mejor resultado obtenido en la ejecución del apartado 6.6.1. Estos resultados se guardan en un archivo con extensión *.py*, donde actualmente se encuentran los valores de *EPOCHS* y de *BATCH_SIZE*.

En la siguiente imagen, se muestran los resultados de la ejecución de esta estrategia con el clasificador y los parámetros mostrados en la figura 11.

```
In [15]: python3 Src/main.py --showOptimizedHyperparameter optimization_algorithms asl_alphabet_gray_150x150px sign_gesture_gray
38/38 - 7s - loss: 2.1799e-04 - accuracy: 1.0000
Epoch 7/10
38/38 - 7s - loss: 1.8106e-04 - accuracy: 1.0000
Epoch 8/10
38/38 - 7s - loss: 1.5470e-04 - accuracy: 1.0000
Epoch 9/10
38/38 - 7s - loss: 1.3471e-04 - accuracy: 1.0000
Epoch 10/10
38/38 - 7s - loss: 1.1921e-04 - accuracy: 1.0000
Best: 1.000000 using {'optimizer': 'SGD'}
1.000000 (0.000000) with: {'optimizer': 'SGD'}
1.000000 (0.000000) with: {'optimizer': 'RMSprop'}
1.000000 (0.000000) with: {'optimizer': 'Adagrad'}
1.000000 (0.000000) with: {'optimizer': 'Adadelta'}
1.000000 (0.000000) with: {'optimizer': 'Adam'}
1.000000 (0.000000) with: {'optimizer': 'Adamax'}
1.000000 (0.000000) with: {'optimizer': 'Nadam'}
[INFO]: Strategy executed successfully
[INFO]: Execution finished
[INFO]: The duration of the execution has been 00:33:55 [hh:mm:ss]
```

Figura 12: Resultados obtenidos en la ejecución de la estrategia *Hyperparameter Optimization Strategy* con el parámetro ”*optimization_algorithms*”

El algoritmo que ha obtenido el mejor resultado es el *SGD*, *Stochastic gradient descent*, con un *accuracy* del 100 %. Aún así, si observamos los resultados obtenidos con los otros algoritmos veremos que su resultado no varía, con obtenemos la máxima *accuracy*.

La duración de esta ejecución ha sido de 33 minutos y 55 segundos, dos horas y media menos que la anterior ejecución. El motivo de la reducción de este coste de tiempos es que únicamente se debían probar siete combinaciones, una por cada algoritmo.

En las siguientes ejecuciones utilizaremos el algoritmo que se muestra como el mejor, pero en caso de querer repetir este experimento sería interesante poder variar el algoritmo para comprobar otros parámetros de su ejecución, como el coste de tiempo, por ejemplo.

6.6.3. Índice de aprendizaje e impulso

En el apartado anterior hemos deducido que el algoritmo de entrenamiento que se utilizará será el *Stochastic gradient descent*, el cual tiene dos parámetros a configurar:

- El índice de aprendizaje (*learn rate*): define la velocidad a la que el modelo se adapta al problema. Cuanto menor sea su valor, mayor deberá ser el tamaño del *Batch* de entrenamiento. Su valor oscila entre los rangos de 0.0 y 1.0

- El impulso (*momentum*): permite acelerar al gradiente en la dirección correcta. En lugar de utilizar solo el gradiente del paso actual, el *momentum* acumula el gradiente de los pasos anteriores para determinar la dirección a seguir.

El parámetro que se debe introducir para poder ejecutar la estrategia optimizando estos atributos es ”*learn_rate_and_momentum*”.

En la imagen que hay a continuación se muestran los parámetros introducidos en el clasificador. El índice de aprendizaje es evaluado a partir de los valores: 0.001, 0.01, 0.1, 0.2 y 0.3. En cambio, el *momentum* puede adquirir uno de los siguientes valores: 0.0, 0.2, 0.4, 0.6, 0.8 o 0.9.

```
@staticmethod
def __get_parameters_for_learn_rate_and_momentum(n_classes, image_size):
    learn_rate = [0.001, 0.01, 0.1, 0.2, 0.3]
    momentum = [0.0, 0.2, 0.4, 0.6, 0.8, 0.9]

    param_grid = dict(learn_rate=learn_rate, momentum=momentum, num_classes=[n_classes], image_size=[image_size])
    classifier = KerasClassifier(build_fn=create_model_learn_rate_and_momentum, epochs=EPOCHS,
                                 batch_size=BATCH_SIZE, verbose=2)

    return param_grid, classifier
```

Figura 13: Parámetros evaluados en la ejecución de la estrategia *Hyperparameter Optimization Strategy* con el parámetro ”*learn_rate_and_momentum*”

En la figura 14 se muestra el resultado de esta ejecución, donde podemos apreciar como los mejores parámetros son la combinación de un índice de aprendizaje del 0.001 y de un *momentum* de 0.

Figura 14: Resultados de la ejecución de la ejecución de la estrategia *Hyperparameter Optimization Strategy* con el parámetro "learn_rate_and_momentum"

Dado los resultados obtenidos, utilizaremos el algoritmo *Stochastic gradient descent* sin *momentum*, ya que es un coste adicional innecesario que no nos aporta un mayor rendimiento en la red neuronal convolucional.

Con todas las otras combinaciones obtenemos el mismo *accuracy*, esto ha estado sucediendo en todas las ejecuciones que se han realizado en la optimización de los hiper-parámetros. Se debe remarcar que, tal y como se muestra en la tabla 17, se había conseguido un rendimiento del 99,30 % en la red neuronal convolucional que se está intentando mejorar con ambos datasets. Su valor inicial es prácticamente perfecto, es de esperar que con una *accuracy* tan elevada se obtengan tales resultados con todas las combinaciones.

Esta ejecución ha tenido un coste temporal de 1 hora, 29 minutos y 37 segundos.

6.6.4. Inicialización del peso de la red

Cada nodo de la red neuronal tiene asignado una ponderación que se utiliza para calcular la suma de los *inputs*. El algoritmo de optimización *Stochastic gradient descent*, el cual se está utilizando, va incrementando los pesos con la intención de minimizar la función de pérdida.

Este algoritmo necesita tener asignados unos valores al inicio de la optimización, y es el inicializador el que definen la forma de establecer los pesos iniciales según la capa de la red neuronal. [11]

El parámetro que se debe introducir para poder ejecutar la estrategia optimizando este atributo es "*network_weight_initialization*". Con este podremos comparar el rendimiento de las distintas heurísticas y acabar asignado la que nos aporte una mayor precisión.

Como se muestra en la figura 15, los inicializadores utilizados son: *uniform*, *lecun uniform*, *normal*, *zero*, *glorot normal*, *glorot uniform*, *he normal* y *he uniform*. Todos ellos están detallados y explicados en los fundamentos, en el apartado 4.

Estos son los principales, pero en el enlace que se encuentra a continuación, se muestran todos los inicializadores que la dispone la librería Keras [12].

<https://keras.io/api/layers/initializers/>

```
@staticmethod
def __get_parameters_network_weight_init(n_classes, image_size):
    init_mode = ['uniform', 'lecun_uniform', 'normal', 'zero', 'glorot_normal', 'glorot_uniform', 'he_normal',
                'he_uniform']

    param_grid = dict(init_mode=init_mode, num_classes=[n_classes], image_size=[image_size])
    classifier = KerasClassifier(build_fn=create_model_network_weight_init, epochs=EPOCHS, batch_size=BATCH_SIZE,
                                 verbose=2)

    return param_grid, classifier
```

Figura 15: Parámetros evaluados en la ejecución de la estrategia *Hyperparameter Optimization Strategy* con el parámetro "*network_weight_initialization*"

En la imagen 16 se muestran los resultados de esta ejecución, donde podemos apreciar que el inicializador *uniform* es el clasificado como el más óptimo. Aún así, podemos ver, como nos ha estados sucediendo en todas las optimizaciones hasta ahora, que los otros inicializadores nos aportan la misma eficiencia.

```
In [16]: !python3 Src/main.py --showOptimizedHyperparameter network_weight_initialization asl_alphabet_gray_150x150px sign_gestu
Epoch 7/10
38/38 - 8s - loss: 0.0026 - accuracy: 1.0000
Epoch 8/10
38/38 - 8s - loss: 0.0022 - accuracy: 1.0000
Epoch 9/10
38/38 - 8s - loss: 0.0019 - accuracy: 1.0000
Epoch 10/10
38/38 - 8s - loss: 0.0016 - accuracy: 1.0000
[INFO]: Best: 1.000000 using {'image_size': (150, 150), 'init_mode': 'uniform', 'num_classes': 39}
[INFO]: 1.000000 (0.000000) with: {'image_size': (150, 150), 'init_mode': 'uniform', 'num_classes': 39}
[INFO]: 1.000000 (0.000000) with: {'image_size': (150, 150), 'init_mode': 'lecun_uniform', 'num_classes': 39}
[INFO]: 1.000000 (0.000000) with: {'image_size': (150, 150), 'init_mode': 'normal', 'num_classes': 39}
[INFO]: 1.000000 (0.000000) with: {'image_size': (150, 150), 'init_mode': 'zero', 'num_classes': 39}
[INFO]: 1.000000 (0.000000) with: {'image_size': (150, 150), 'init_mode': 'glorot_normal', 'num_classes': 39}
[INFO]: 1.000000 (0.000000) with: {'image_size': (150, 150), 'init_mode': 'glorot_uniform', 'num_classes': 39}
[INFO]: 1.000000 (0.000000) with: {'image_size': (150, 150), 'init_mode': 'he_normal', 'num_classes': 39}
[INFO]: 1.000000 (0.000000) with: {'image_size': (150, 150), 'init_mode': 'he_uniform', 'num_classes': 39}
[INFO]: Strategy executed successfully
[INFO]: Execution finished
[INFO]: The duration of the execution has been 00:22:42 [hh:mm:ss]
```

Figura 16: Resultados de la ejecución de la estrategia *Hyperparameter Optimization Strategy* con el parámetro ”*network_weight_initialization*”

Al tener únicamente ocho combinaciones a probar, la duración de esta ejecución ha sido menor a todas las realizadas hasta ahora, con un tiempo de 22 minutos y 42 segundos.

6.6.5. Función de activación neuronal

Otro parámetro a optimizar en la red neuronal convolucional es la función de activación. Permite utilizar la información importante, descartando los datos irrelevantes.

La función de activación comprobará si una neurona debe activarse o no utilizando operaciones matemáticas. Transformará la suma de ponderaciones del nodo en un valor de salida que se enviará a la siguiente capa, este valor servirá para identificar si la neurona está activa [13].

Las funciones de activación probadas en esta ejecución, tal y como se muestra en la imagen 17, son: *relu*, *softmax*, *softplus*, *softsign*, *tanh*, *sigmoid*, *hard_sigmoid* y *linear*. Todas estas funciones están explicadas en los fundamentos, en el apartado 4.

Se han utilizado las funciones más comunes, pero en el siguiente enlace se muestran todas las funciones de activación disponibles en la librería *Keras* [12].

<https://keras.io/api/layers/activations/>

El parámetro que se debe introducir para poder ejecutar la estrategia optimizando este atributo es ”*neuron_activation_function*”.

```

@staticmethod
def __get_parameters_neuron_activation_function(n_classes, image_size):
    activation = ['relu', 'softmax', 'softplus', 'tanh', 'sigmoid', 'hard_sigmoid', 'linear']

    param_grid = dict(activation=activation, num_classes=[n_classes], image_size=[image_size])
    classifier = KerasClassifier(build_fn=create_model_neuron_activation_function, epochs=EPOCHS,
                                 batch_size=BATCH_SIZE, verbose=2)

    return param_grid, classifier

```

Figura 17: Parámetros evaluados en la ejecución de la estrategia *Hyperparameter Optimization Strategy* con el parámetro ”neuron_activation_function”

En la imagen 19 se muestran los resultados de esta ejecución. Podemos apreciar como se obtienen diferentes valores dependiendo de la función de activación, tres de los cuales tiene una *accuracy* máxima: *relu*, *softplus* y *linear*.

```

In [18]: a1n.py --showOptimizedHyperparameter neuron_activation_function asl_alphabet_gray_150x150px sign_gesture_gray_150x150px
Epoch 7/10
38/38 - 7s - loss: 0.1879 - accuracy: 0.6027
Epoch 8/10
38/38 - 7s - loss: 0.1398 - accuracy: 0.9120
Epoch 9/10
38/38 - 7s - loss: 0.1044 - accuracy: 0.9840
Epoch 10/10
38/38 - 7s - loss: 0.0792 - accuracy: 0.9973
[INFO]: Best: 1.000000 using {'activation': 'relu', 'image_size': (150, 150), 'num_classes': 39}
[INFO]: 1.000000 (0.000000) with: {'activation': 'relu', 'image_size': (150, 150), 'num_classes': 39}
[INFO]: 0.400000 (0.000000) with: {'activation': 'softmax', 'image_size': (150, 150), 'num_classes': 39}
[INFO]: 1.000000 (0.000000) with: {'activation': 'softplus', 'image_size': (150, 150), 'num_classes': 39}
[INFO]: 0.877333 (0.167852) with: {'activation': 'softplus', 'image_size': (150, 150), 'num_classes': 39}
[INFO]: 1.333333 (0.471405) with: {'activation': 'tanh', 'image_size': (150, 150), 'num_classes': 39}
[INFO]: 0.000000 (0.000000) with: {'activation': 'sigmoid', 'image_size': (150, 150), 'num_classes': 39}
[INFO]: 0.000000 (0.000000) with: {'activation': 'hard_sigmoid', 'image_size': (150, 150), 'num_classes': 39}
[INFO]: 1.000000 (0.000000) with: {'activation': 'linear', 'image_size': (150, 150), 'num_classes': 39}
[INFO]: Strategy executed successfully
[INFO]: Execution finished
[INFO]: The duration of the execution has been 00:30:51 [hh:mm:ss]

```

Figura 18: Resultado de la ejecución de la estrategia *Hyperparameter Optimization Strategy* con el parámetro ”neuron_activation_function”

Se utilizará la función de activación *ReLU*, la cual es la más utilizada en las redes neuronales convolucionales, ya que acelera su entrenamiento al tener un cálculo tan simple. Cualquier elemento negativo se iguala a cero, no utiliza operaciones costosas tales como exponentiales, multiplicaciones o divisiones.

La ejecución de la optimización de este parámetro ha tenido un coste temporal de 30 minutos y 51 segundos.

6.6.6. Regulación del *Dropout*

El *Dropout* es una técnica que ayuda a regular el *overfitting* en todo tipo de redes neuronales con un coste computacional leve. Este método descarta o ignora, aleatoriamente, una cierta cantidad de neuronas y es muy común en redes

neuronales convolucionales bidimensionales con una gran cantidad de nodos en la red. Esta técnica se puede añadir después de una o varias capas.

En la configuración de esta técnica, utilizando la librería *Keras* [12], se debe introducir un atributo denominado ”*dropout rate*”. Este parámetro tiene un rango de valores decimales del cero al uno. Por ejemplo, si se configura con un *dropout rate* del 0,2, el 20 % de los nodos serán descartados aleatoriamente [14] [15].

Otro atributo a configurar es el ”*kernel constraint*”, el cual restringe los pesos de las capas ocultas garantizando que la norma máxima de los pesos no excede el valor definido [16].

Estos dos atributos son los que se van a intentar optimizar en la ejecución de esta estrategia introduciendo el parámetro ”*dropout_regularization*”.

En la imagen 19 se muestra el clasificador de este modelo, con los posibles rangos de valores para el *dropout rate* y el *kernel constraint*.

```
@staticmethod
def __get_parameters_dropout_regularization(n_classes, image_size):
    weight_constraint = [1, 2, 3, 4, 5]
    dropout_rate = [0.0, 0.1, 0.2, 0.3, 0.4, 0.5, 0.6, 0.7, 0.8, 0.9]

    param_grid = dict(dropout_rate=dropout_rate, weight_constraint=weight_constraint, num_classes=[n_classes],
                      image_size=[image_size])
    classifier = KerasClassifier(build_fn=create_model_dropout_regularization, epochs=EPOCHS, batch_size=BATCH_SIZE,
                                 verbose=2)

    return param_grid, classifier
```

Figura 19: Parámetros evaluados en la ejecución de la estrategia *Hyperparameter Optimization Strategy* con el parámetro ”*dropout_regularization*”

En la imagen 20 se muestran los resultados más significativos de esta ejecución, ya que el *output* ocupaba demasiado como para poder incluirlo en una única imagen.

```

[INFO]: Best: 1.000000 using {'dropout_rate': 0.0, 'image_size': (150, 150), 'num_classes': 39, 'weight_constraint': 3}
[INFO]: 0.805333 (0.242153) with: {'dropout_rate': 0.0, 'image_size': (150, 150), 'num_classes': 39, 'weight_constraint': 1}
[INFO]: 0.640000 (0.376652) with: {'dropout_rate': 0.0, 'image_size': (150, 150), 'num_classes': 39, 'weight_constraint': 2}
[INFO]: 1.000000 (0.000000) with: {'dropout_rate': 0.0, 'image_size': (150, 150), 'num_classes': 39, 'weight_constraint': 3}
[INFO]: 0.664000 (0.469530) with: {'dropout_rate': 0.0, 'image_size': (150, 150), 'num_classes': 39, 'weight_constraint': 4}
[INFO]: 0.978667 (0.016438) with: {'dropout_rate': 0.0, 'image_size': (150, 150), 'num_classes': 39, 'weight_constraint': 5}
[INFO]: 1.000000 (0.000000) with: {'dropout_rate': 0.1, 'image_size': (150, 150), 'num_classes': 39, 'weight_constraint': 1}
[INFO]: 0.677333 (0.456320) with: {'dropout_rate': 0.1, 'image_size': (150, 150), 'num_classes': 39, 'weight_constraint': 2}
[INFO]: 0.976000 (0.033941) with: {'dropout_rate': 0.1, 'image_size': (150, 150), 'num_classes': 39, 'weight_constraint': 3}
[INFO]: 0.920000 (0.107530) with: {'dropout_rate': 0.1, 'image_size': (150, 150), 'num_classes': 39, 'weight_constraint': 4}
[INFO]: 0.997333 (0.003771) with: {'dropout_rate': 0.1, 'image_size': (150, 150), 'num_classes': 39, 'weight_constraint': 5}
[INFO]: 0.666667 (0.471405) with: {'dropout_rate': 0.2, 'image_size': (150, 150), 'num_classes': 39, 'weight_constraint': 1}
[INFO]: 1.000000 (0.000000) with: {'dropout_rate': 0.2, 'image_size': (150, 150), 'num_classes': 39, 'weight_constraint': 2}
[INFO]: 1.000000 (0.000000) with: {'dropout_rate': 0.2, 'image_size': (150, 150), 'num_classes': 39, 'weight_constraint': 3}
[INFO]: 0.336000 (0.469530) with: {'dropout_rate': 0.2, 'image_size': (150, 150), 'num_classes': 39, 'weight_constraint': 4}
[INFO]: 1.000000 (0.000000) with: {'dropout_rate': 0.2, 'image_size': (150, 150), 'num_classes': 39, 'weight_constraint': 5}
[INFO]: 0.773333 (0.314915) with: {'dropout_rate': 0.3, 'image_size': (150, 150), 'num_classes': 39, 'weight_constraint': 1}
[INFO]: 0.624000 (0.439102) with: {'dropout_rate': 0.3, 'image_size': (150, 150), 'num_classes': 39, 'weight_constraint': 2}
[INFO]: 0.706667 (0.235272) with: {'dropout_rate': 0.3, 'image_size': (150, 150), 'num_classes': 39, 'weight_constraint': 3}
[INFO]: 1.000000 (0.000000) with: {'dropout_rate': 0.3, 'image_size': (150, 150), 'num_classes': 39, 'weight_constraint': 4}
[INFO]: 0.792000 (0.294156) with: {'dropout_rate': 0.3, 'image_size': (150, 150), 'num_classes': 39, 'weight_constraint': 5}
[INFO]: 0.464000 (0.288666) with: {'dropout_rate': 0.4, 'image_size': (150, 150), 'num_classes': 39, 'weight_constraint': 1}
[INFO]: 0.450667 (0.414167) with: {'dropout_rate': 0.4, 'image_size': (150, 150), 'num_classes': 39, 'weight_constraint': 2}
[INFO]: 0.309333 (0.398522) with: {'dropout_rate': 0.4, 'image_size': (150, 150), 'num_classes': 39, 'weight_constraint': 3}
[INFO]: 0.746667 (0.335894) with: {'dropout_rate': 0.4, 'image_size': (150, 150), 'num_classes': 39, 'weight_constraint': 4}
[INFO]: 0.664000 (0.469530) with: {'dropout_rate': 0.4, 'image_size': (150, 150), 'num_classes': 39, 'weight_constraint': 5}
[INFO]: 0.594667 (0.411065) with: {'dropout_rate': 0.5, 'image_size': (150, 150), 'num_classes': 39, 'weight_constraint': 1}

```

Figura 20: Resultados de la ejecución de la estrategia *Hyperparameter Optimization Strategy* con el parámetro ”*dropout_regularization*”

Podemos ver como la opción que el optimizador muestra como la ideal tiene un *dropout rate* de 0, lo que significa que ningún nodo será descartado. En cuanto al *dropout_regularization*, que en la imagen anterior se muestra como el *weight_constraint*, tiene la máxima *accuracy* con un valor de 3, combinado con un *dropout rate* nulo.

Aún así, cuando se vaya a entrenar la red neuronal con los parámetros optimizados se harán dos comprobaciones, uno sin *Dropout* y otro con la combinación de un *dropout rate* con un valor igual a 0,2 y un *kernel constraint* igual a 3. Esta dos combinación se muestran en la imagen 20 con una *accuracy* del 100 %.

La ejecución de esta estrategia ha tenido un coste de tiempo igual a 2 horas, 29 minutos y 33 segundos.

6.6.7. Número de neuronas

El último atributo a optimizar es el número de neuronas en las capas de la red neuronal convolucional. El parámetro que se debe introducir para poder ejecutar la estrategia optimizando este atributo es ”*number_neurons*”.

En la imagen 21 se muestran los rangos de valores que pueden adquirir las dos capas con un número de nodos configurables.

```
@staticmethod
def __get_parameters_number_neurons(n_classes, image_size):
    neurons_conv_layer = [1, 5, 10, 15, 20, 25, 30, 40, 50, 60, 80, 100, 120, 140]
    neurons_dense_layer = [10, 20, 25, 30, 40, 50, 60, 80, 100, 120, 140]

    param_grid = dict(neurons_conv_layer=neurons_conv_layer, neurons_dense_layer=neurons_dense_layer,
                      num_classes=[n_classes], image_size=[image_size])
    classifier = KerasClassifier(build_fn=create_model_number_neurons, epochs=EPOCHS, batch_size=BATCH_SIZE,
                                 verbose=2)

    return param_grid, classifier
```

Figura 21: Parámetros evaluados en la ejecución de la estrategia *Hyperparameter Optimization Strategy* con el parámetro ”*number_neurons*”

En la siguiente imagen aparece el resultado de la ejecución de esta estrategia.

```
[INFO]: Best: 1.000000 using {'image_size': (150, 150), 'neurons_conv_layer': 15, 'neurons_dense_layer': 100, 'num_classes': 39}
[INFO]: 0.666667 (0.471405) with: {'image_size': (150, 150), 'neurons_conv_layer': 1, 'neurons_dense_layer': 10, 'num_classes': 39}
[INFO]: 0.773333 (0.209261) with: {'image_size': (150, 150), 'neurons_conv_layer': 1, 'neurons_dense_layer': 20, 'num_classes': 39}
[INFO]: 0.666667 (0.471405) with: {'image_size': (150, 150), 'neurons_conv_layer': 1, 'neurons_dense_layer': 25, 'num_classes': 39}
[INFO]: 0.666667 (0.471405) with: {'image_size': (150, 150), 'neurons_conv_layer': 1, 'neurons_dense_layer': 30, 'num_classes': 39}
[INFO]: 0.666667 (0.471405) with: {'image_size': (150, 150), 'neurons_conv_layer': 1, 'neurons_dense_layer': 40, 'num_classes': 39}
[INFO]: 0.800000 (0.282843) with: {'image_size': (150, 150), 'neurons_conv_layer': 1, 'neurons_dense_layer': 50, 'num_classes': 39}
[INFO]: 0.960000 (0.051016) with: {'image_size': (150, 150), 'neurons_conv_layer': 1, 'neurons_dense_layer': 60, 'num_classes': 39}
[INFO]: 0.624000 (0.303789) with: {'image_size': (150, 150), 'neurons_conv_layer': 1, 'neurons_dense_layer': 80, 'num_classes': 39}
[INFO]: 0.466667 (0.410961) with: {'image_size': (150, 150), 'neurons_conv_layer': 1, 'neurons_dense_layer': 100, 'num_classes': 39}
[INFO]: 0.994667 (0.007542) with: {'image_size': (150, 150), 'neurons_conv_layer': 1, 'neurons_dense_layer': 120, 'num_classes': 39}
[INFO]: 0.952000 (0.067882) with: {'image_size': (150, 150), 'neurons_conv_layer': 1, 'neurons_dense_layer': 140, 'num_classes': 39}
[INFO]: 0.221333 (0.160577) with: {'image_size': (150, 150), 'neurons_conv_layer': 5, 'neurons_dense_layer': 10, 'num_classes': 39}
[INFO]: 0.202667 (0.286614) with: {'image_size': (150, 150), 'neurons_conv_layer': 5, 'neurons_dense_layer': 20, 'num_classes': 39}
[INFO]: 0.666667 (0.471405) with: {'image_size': (150, 150), 'neurons_conv_layer': 5, 'neurons_dense_layer': 25, 'num_classes': 39}
[INFO]: 0.266667 (0.316941) with: {'image_size': (150, 150), 'neurons_conv_layer': 5, 'neurons_dense_layer': 30, 'num_classes': 39}
[INFO]: 0.000000 (0.000000) with: {'image_size': (150, 150), 'neurons_conv_layer': 5, 'neurons_dense_layer': 40, 'num_classes': 39}
```

Figura 22: Resultados de la ejecución de la estrategia *Hyperparameter Optimization Strategy* con el parámetro ”*number_neurons*”

Según el resultado obtenido, la combinación más óptima para el número de neuronas son 15 en la capa convolucional y 100 en la densa oculta.

La ejecución de esta estrategia tiene un coste de tiempo de 10 horas, 56 minutos y 9 segundos. Este parámetro es el que ha tenido la ejecución más larga en la estrategia *Hyperparameter Optimization Strategy*.

6.6.8. Resultados de la optimización

Una vez realizadas todas las optimizaciones se creó un nuevo modelo de red neuronal convolucional mejorado. Este nuevo modelo se muestra en la imagen 23.

```
def __get_improved_sequential_model(n_classes, shape):
    model = Sequential()
    model.add(Conv2D(NEURONS_CONV_LAYER, kernel_size=(3, 3), strides=(1, 1), padding='valid', activation=ACTIVATION,
                    input_shape=(shape[1], shape[2], 1), kernel_initializer=INIT_MODE,
                    kernel_constraint=max_norm(WIGHT_CONSTRAINT)))
    model.add(Dropout(DROPOUT_RATE))
    model.add(MaxPool2D(pool_size=(1, 1)))
    model.add(Flatten())
    model.add(Dense(NEURONS_DENSE_LAYER, kernel_initializer=INIT_MODE, activation=ACTIVATION))
    model.add(Dropout(DROPOUT_RATE))
    model.add(Dense(n_classes, activation='softmax'))

    return model
```

Figura 23: Modelo de la red neuronal convolucional obtenida a partir de los resultados de las ejecuciones de la estrategia *Hyperparameter Optimization Strategy*.

Se han realizado diversos cambios comparado con la red neuronal convolucional presentada en el apartado 6.2. Se han modificado el valor de varios atributos, tales como:

- El número de nodos en la capa convolucional y en la capa densa oculta. En la anterior versión de este modelo se utilizaron 25 nodos en la convolucional y 100 en la densa. Actualmente, se han reducido los 25 nodos a 15.
- Anteriormente no se definía ningún inicializador, pero como se muestra en la imagen 24, que hace referencia al constructor de la capa convolucional, el inicializador por defecto es el *glorot_uniform*. En el nuevo modelo se define con el inicializador *uniform*.
- Por último, se han añadido dos nuevas capas de *Dropout* y un *kernel constraint* en la capa convolucional. Este parámetro tiene un valor nulo cuando

no se define, como se muestra en la imagen 24, por lo tanto, en el modelo anterior no se restringía los pesos de las capas ocultas.

Actualmente se tienen dos conjuntos de valores a probar, uno con un *dropout rate* de 0.2 y un *kernel constraint* de 2, o un 0 de *dropout rate* y un 3 de *kernel constraint*.

```
def __init__(self,
            filters,
            kernel_size,
            strides=(1, 1),
            padding='valid',
            data_format=None,
            dilation_rate=(1, 1),
            groups=1,
            activation=None,
            use_bias=True,
            kernel_initializer='glorot_uniform',
            bias_initializer='zeros',
            kernel_regularizer=None,
            bias_regularizer=None,
            activity_regularizer=None,
            kernel_constraint=None,
            bias_constraint=None,
            **kwargs):
    super(Conv2D, self).__init__(
        rank=2,
        filters=filters,
        kernel_size=kernel_size,
```

Figura 24: Parámetros requeridos en el constructor de la clase *Conv2D* de la librería *keras.layers*.

Se ha entrenado la red neuronal convolucional mejorada con los dos conjuntos de valores del *dropout*, en la siguiente tabla se comparan los resultados obtenidos y los costes temporales y de memoria de cada uno de ellos.

	<i>Sin Dropout rate = 0.0 Kernel Constraint = 3</i>	<i>Dropout rate = 0.2 Kernel Constraint = 2</i>
Accuracy	99,72 %	97,26 %
Coste temporal entrenamiento	01:06:50 hora	01:29:03 hora
Coste temporal predicción	00:01:13 horas	00:01:05 horas
Coste memoria	394,4 MB	394,4 MB

Tabla 20: Comparativa de la red neuronal convolucional con los parámetros optimizados con y sin *Dropout*

Dados los resultados obtenidos en la tabla 20, podemos concluir que para el problema que estamos intentado solucionar, con los dos datasets combinados y con las características definidas de la red neuronal convolucional, obtenemos un resultado más óptimo sin *dropout*.

En cuanto al coste de ambas ejecuciones, tanto la suma del temporal como el de memoria es menor sin el *dropout*, lo que nos confirma cual es la mejor solución.

Aún así, una *accuracy* del 97,26 % es un resultado excelente, pero al tener un valor más elevado con un coste menor, se utilizará la primera opción.

Todos los resultados obtenidos a partir de las ejecuciones de la estrategia *Hyperparameter Optimization Strategy* se han guardado en un archivo denominado *hyperparameters.py*. La imagen 25 muestra el contenido de este archivo con los valores finales.

```
"""
After executing the --showOptimizedHyperparameter strategy, these are the best results obtained for the convolutional
neural network.
"""

EPOCHS = 10
BATCH_SIZE = 10
OPTIMIZER_ALGORITHM = 'SGD'
LEARN_RATE = 0.001
MOMENTUM = 0.0
INIT_MODE = 'uniform'
ACTIVATION = 'relu'
DROPOUT_RATE = 0.0
WEIGHT_CONSTRAINT = 3
NEURONS_CONV_LAYER = 15
NEURONS_DENSE_LAYER = 100
```

Figura 25: Archivo del proyecto que contiene los valores de los atributos optimizados obtenidos a partir de las ejecuciones de la estrategia *Hyperparameter Optimization Strategy*

Los valores de la tabla 20 han sido obtenidos a partir de un mismo modelo

modificando los dos atributos diferenciados. Esto significa que en el caso del *dropout rate* igual a cero, se ha entrenado la red neuronal con una capa adicional que no era necesaria. Utilizando la lógica diríamos que una capa de *Dropout* con un índice nulo únicamente estaría incrementando el coste de memoria, ya que en sí no tiene ninguna utilidad.

En la tabla 21 se comparan los mismos atributos que en la tabla 20, pero en este caso las dos redes neuronales convolucionales a comparar se diferencian en si tienen las capas de *Dropout* con un índice nulo, o si no disponen de estas capas.

Esta comparación se lleva a cabo para evaluar si el resultado que se espera utilizando la lógica es el mismo que el resultado real.

	<i>Dropout rate igual a cero</i>	<i>Sin las capas Dropout</i>
Accuracy	99,72 % - 99,75 %	99.46 % - 99.57 %
Coste temporal entrenamiento	01:06:50 hora	01:14:57 hora
Coste temporal predicción	00:01:13 horas	00:01:17 horas
Coste memoria	394,4 MB	394,4 MB

Tabla 21: Comparativa de la red neuronal convolucional con los parámetros optimizados con y sin *Dropout*

Se han ejecutado las estrategias de entrenamiento y de predicción diversas veces con la intención de poder comparar si realmente tienen características diferentes. En la tabla 21 se muestran los rangos de valores más significativos en esta comparación.

Se aprecia como hay una diferencia significativa en la *accuracy* entre ambas redes. En todos los entrenamientos que se han realizado, en ningún momento el modelo sin *Dropout* ha llegado a igualar el peor valor del modelo con el *dropout rate* nulo.

Al no comprender el porque de esta diferenciación en la *accuracy* entre ambas redes neuronales, se ha hecho una búsqueda exhaustiva por internet. La única información que se ha conseguido obtener ha sido una publicación en *Stack Overflow*¹, sin ninguna respuesta, y un *bug* abierto en *Git Hub*² que hacia referencia exactamente a este error. El *bug* tenía como título:

Keras Dropout layer changes results with dropout=0.0

¹<https://es.stackoverflow.com/>

²<https://github.com/>

Este se puede encontrar en el siguiente enlace:

<https://github.com/tensorflow/tensorflow/issues/10845>

El problema está en que este *bug* se abrió en 2017, y la solución que aparece en los comentarios no hace referencia al estado actual de la librería *tensorflow*. Con lo que no se puede entender exactamente el porque de esta diferenciación.

En este proyecto se utilizará el modelo sin la capa de *Dropout*, ya que no la otra opción no es una solución fiable si contiene un error. Aunque, aparentemente, pueda parecer que nos aporta una *accuracy* más elevada con un coste menor, no entendemos cual es la forma en la que está implementado. Al no poder dar una explicación a este problema, no se puede dar como valido el modelo con un *dropout rate* igual a cero.

En futuras investigación sería recomendable investigar cual es el modelo matemático que hay detrás de esta capa, de la librería *tensorflow*, para poder concluir si este *bug*, no solucionado, supondría un problema en futuros entrenamientos.

6.7. Comparativa de las experimentaciones 4 y 5

En la experimentación del apartado 6.6, se han evaluado unas ciertas características del modelo utilizado en la red neuronal convolucional. Se han obtenido unos resultados donde se mostraba cuales eran los valores óptimos para estos atributos, buscando una mayor *accuracy* en la red neuronal.

Después de probar las combinaciones especificadas, se ha obtenido el modelo que mejor se adapta al problema que se intenta solucionar. Se ha deducido que la mejor solución era utilizar una red neuronal con una capa convolucional de 25 nodos y una densa de 100, con el inicializador *glorot_uniform* y sin ninguna capa de *Dropout*.

Este ha sido el resultado obtenido dada las configuraciones de la optimización, pero lo que no se ha evaluado es la comparación de este resultado con el obtenido en el apartado 6.5. Se podrían dar tres posibilidades en cuanto a la comparación de la *accuracy*:

- No haber ninguna modificación. Aún haber evaluado los valores más óptimos de los atributos a configurar, al tener ya de por si una *accuracy* muy elevada, prácticamente perfecta, estas modificaciones podrían no implicar una mejora.
- Mejorar la eficiencia de la red neuronal. Al haber obtenido los mejores valores centrados exclusivamente en el problema que se intenta solucionar con el dataset con el que se hace el entrenamiento, podríamos haber encontrado una configuración más específica que nos incremente su eficiencia.
- Empeorar la eficiencia de la red neuronal. Las comprobaciones de las optimizaciones no se han podido realizar con todos los datos del dataset por un problema de coste de memoria y tiempo. Al haber hecho las pruebas con un conjunto de datos muy pequeño, comparado con el que se hace el entrenamiento real, se podrían haber obtenido resultados que no acabasen de ser específicos para nuestro problema.

Teniendo presente estas tres posibilidades se realizó el entrenamiento y las predicciones con la red neuronal, supuestamente, optimizada. A continuación, se muestra una tabla con los valores de la comparación.

	CNN no optimizada	CNN optimizada
Accuracy	99,30 %	99,52 %
Coste temporal entrenamiento	01:35:02 hora	01:06:50 hora
Coste temporal predicción	00:01:43 horas	00:01:13 horas
Coste memoria	657,2 MB	394,4 MB

Tabla 22: Comparativa de los resultados de las redes neuronales convolucionales de los apartados 6.5 y 6.6.

Evaluado los valores de la tabla 22, podemos apreciar como la red neuronal optimizada incrementa la *accuracy* 22 décimas. Este incremento puede parecer muy leve, pero al ser un valor de eficiencia tan elevado, el poder incrementar unas décimas significa una gran mejora en el modelo.

Además, podemos apreciar como el coste temporal de entrenamiento ha sido reducido media hora, mejorándose un 30,52 %. y en cuanto al coste de memoria, se han disminuido 262,8 MB, un 39,99 %.

Dados estos resultados, podemos concluir que la experimentación que se ha centrado en la optimización de la red neuronal convolucional ha sido exitosa, y esta es la mejor solución que se tiene hasta el momento.

6.8. Experimentación 6: Uso de clasificadores binarios

En el apartado 6.7, se muestra una posible solución a este proyecto, donde se entrena una red neuronal convolucional. Hasta el momento todas las implementaciones que se han realizado han estado centradas en analizar los datos de un modo categórico.

Este método nos ha aportado un rendimiento prácticamente perfecto, si nos centramos en evaluar únicamente su *accuracy*. La solución que se propone tiene un rendimiento del 99,52% con un coste de tiempo de entrenamiento y predicción de una hora y con un coste de memoria de 394,4 MB.

Aún haber obtenido un resultado excelente, se ha querido evaluar otra técnica. El objetivo es ampliar el conocimiento de las diferentes técnicas de clasificación y poder comprobar si esta también daría unos resultados tan satisfactorios.

Como se explica en los fundamentos, [en el apartado 4](#), hay diferentes tipos de clasificadores. Hasta ahora, se ha utilizado el clasificador multi-clase, ya que es el que mejor se adapta a las características de los datos con los que se está trabajando. Pero hay otra técnica que se puede utilizar y que no se ha implementado en las experimentaciones anteriores. Esta consiste en adaptar un clasificador binario para que sea capaz de clasificar más de una clase. La explicación de esta técnica se encuentra [en el apartado 4](#).

Se utilizará el modelo que mejores resultados nos ha proporcionado hasta el momento, en este caso es la red neuronal convolucional presentada en el apartado 6.7. Se modificarán los parámetros necesarios para que se adapte a las características del tipo de clasificador que se implementará.

Para la realización de este experimento se han implementado dos estrategias, siguiendo la misma estructura que con el árbol de decisión y las redes neuronales. Estas estrategias se denominan:

- **Train Binary Neural Network:** Para ejecutarla se deben definir los *Pickels* (archivos donde se almacenan los datos) a utilizar. Una vez definidos, se procesaran los datos con tal de poder crear tantos clasificadores como tipos de clases haya, en este caso, hay una clase por cada letra y número del lenguaje de signos, 39 en total.

Los datos dependerán del clasificador, cada clasificador se centra en identificar si las imágenes son una señal en concreto o no. Es por esto que los datos serán transformados en binarios previamente al entrenamiento de cada modelo.

Cuando se han creado todos los clasificadores, se construyen los modelos de las redes neuronales convolucionales y se entrenan basados en los datos de *training*.

Antes de finalizar la ejecución, se almacenan todos los modelos en archivos con extensión *.h5*, comprimidos en un *zip* para minimizar el coste de memoria.

La imagen 26 muestra el diagrama de flujo de esta estrategia.

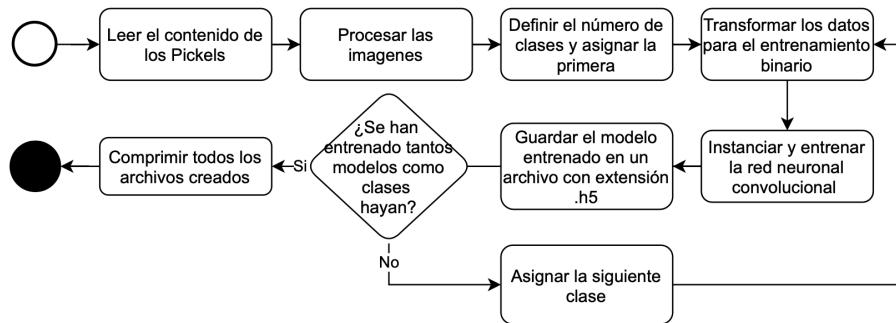


Figura 26: Diagrama de flujo de la estrategia *Train Binary Neural Network*

- **Accuracy Binary Neural Network:** Esta estrategia recuperará los modelos creados en la anterior ejecución. Por cada modelo, introducirá los datos de *testing* y evaluará la predicción de cada una de las redes neuronales binarias, mostrando la *accuracy* de cada una de ellas.

Una vez obtenidas todas las predicciones, se calculará, por cada dato introducido del *testing*, que modelo ha proporcionado un valor más elevado, pudiendo calcular así cual es la clase resultante. A continuación, se mostrará la *accuracy* global de esta técnica.

La imagen 27 hace referencia al diagrama de flujo de la estrategia *Accuracy Binary Neural Network*.

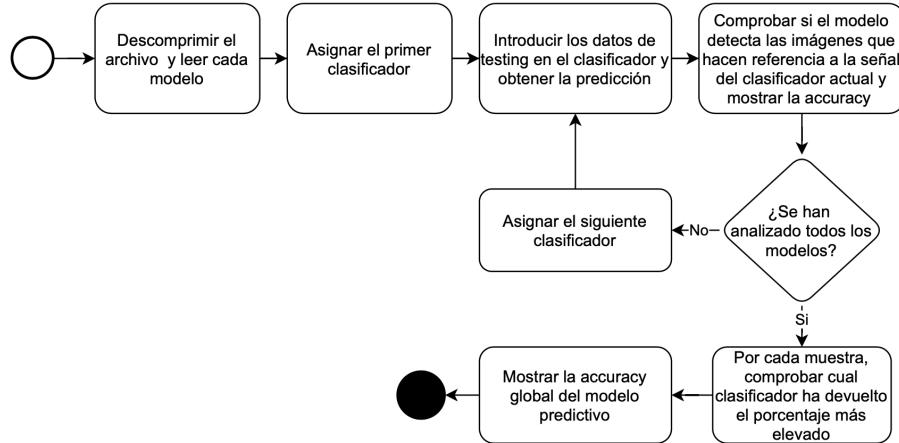


Figura 27: Diagrama de flujo de la estrategia *Accuracy Binary Neural Network*

Estas estrategias poseen un coste muy elevado, tanto de memoria como de tiempo. Se intentó entrenar el modelo predictivo con todas las muestras de los datasets, pero después de ocho horas, no había acabado de entrenar ni 1 red neuronal, y se debían entrenar 39.

Se decidió probar este modelo con menos datos, utilizando únicamente tres clases:

- La señal que hace referencia a la letra 'A'.
- La señal que hace referencia a la letra 'B'.
- La señal que hace referencia a la letra 'C'.

Se han restringido los valores de las muestras, con la intención de únicamente aceptar estos tres valores y reducir el tamaño del dataset. Una vez eliminados las muestras que no nos interesan, se han ejecutado las dos estrategias mencionadas. En la imagen 28 se muestra un diagrama de del entrenamiento con las tres clases mencionadas.

En el primer paso se obtienen las muestras buscadas, y se procesan para obtener las etiquetas (X) y el valor de los píxeles (Y) en dos estructuras diferentes. En el tercer paso, el cual se ejecuta secuencialmente, no en paralelo, se analizan los valores. La estructura, que almacena las etiquetas, modifica el valor de sus elementos, con un valor de 0, si no pertenece a la clase actual, y con uno si pertenece a la clase.

El cuarto paso se entrena todos los modelo, pero, como se muestra el diagrama de flujos de la imagen 26, el tercer y el cuarto paso se llevan a cabo secuencialmente. Una vez se ha finalizado el entrenamiento, se vuelve al paso tres con la siguiente clase.

El paso cinco hace referencia al *output* que proporcionarán estos modelos cuando se realice la predicción.

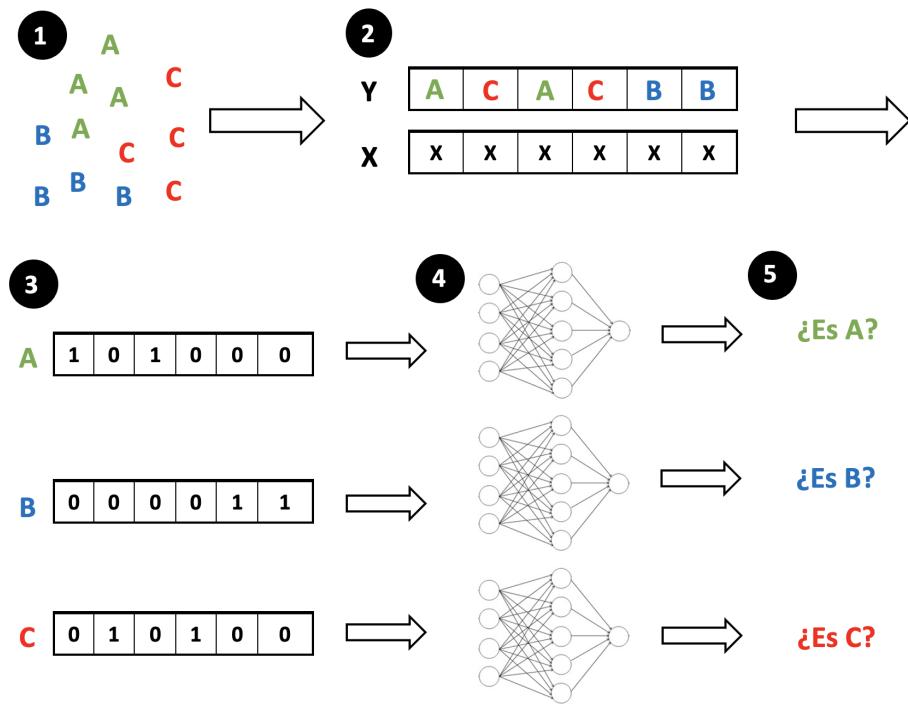


Figura 28: Diagrama de flujo de la estrategia *Accuracy Binary Neural Network*.

En la imagen 29, se muestra la accuracy obtenida con este modelo con las tres clases definidas. Se puede apreciar la accuracy de cada uno de los clasificadores, el cual ha sido:

- Clasificador del signo 'A': 100 %.
- Clasificador del signo 'B': 99,82 %.
- Clasificador del signo 'C': 99,95 %.

La accuracy global se calcula analizando el clasificador que ha devuelto la predicción más elevada, puede pasar que más de uno devuelva el máximo valor, pero como se muestra en la imagen 29 no se ha dado el caso en esta ejecución.

La accuracy global ha sido del 100 %, lo que muestra que esta técnica puede ser muy prometedora.

```
!python3 Src/main.py --accuracyBinaryNeuralNetwork abc abc_asl_alphabet_gray_150x150px-sign_gesture_gray_150x150px_mode
[INFO]: Strategy selected: --accuracyBinaryNeuralNetwork
[INFO]: Arguments entered:
        * Signs to train: abc
        * Neural Network model file: abc, abc_asl_alphabet_gray_150x150px-sign_gesture_gray_150x150px_models.zip
[INFO]: The accuracy of the binary neural network of the sign 'C' is: 100.00%
[INFO]: The accuracy of the binary neural network of the sign 'B' is: 99.82%
[INFO]: The accuracy of the binary neural network of the sign 'A' is: 99.95%
[INFO]: The global accuracy is: 100.00%
[INFO]: 0.00% of the correct samples had more than one solution.
[INFO]: Strategy executed successfully
[INFO]: Execution finished
[INFO]: The duration of the execution has been 00:00:41 [hh:mm:ss]
```

Figura 29: *Output* de la ejecución de la estrategia *Accuracy Binary Neural Network* con las señales: 'A', 'B' y 'C'.

La tabla 23, muestra las características de esta ejecución. Se puede apreciar como comprimir los archivos genera una reducción en el coste de memoria de la ejecución de ambas estrategias.

El tiempo de entrenamiento y de predicción puede parecer leve, comparado con los resultados de otros modelos predictivos implementados en anteriores estrategias. Pero debemos recordar que esta ha sido entrenada únicamente con tres clases, si se hubiese entrenado con 39, como es el dataset real, estos valores se dispararían.

Modelo predictivo con redes neuronales binarias de los signos 'A', 'B' y 'C'	
Accuracy	100 %
Tiempo ejecución del entrenamiento	00:47:38 horas
Tiempo ejecución de la predicción	00:00:41 horas
Coste de memoria de los archivos comprimidos	975,9 MB
Coste de memoria de los archivos sin comprimidos	1,18 GB

Tabla 23: Características de la ejecución del modelo predictivo con redes neuronales binarias con las muestras de los signos 'A', 'B' y 'C'.

Una vez obtenidos este rendimiento tan prometedor, se volvieron a ejecutar

las mismas estrategias, pero esta vez admitiendo las clases numéricas, las señales del cero al diez.

En este caso, los resultados no fueron tan favorables. Como se muestra en la imagen 30, la máxima *accuracy* ha sido del 100 %, pero el clasificador de la señal '4' nos proporciona una *accuracy* del 24,80 %, un valor muy pobre.

Al tener clasificadores con un rendimiento tan leve, afectan a la *accuracy* global del modelo predictivo, ya que proporcionan valores, en sus predicciones, más elevados que el clasificador correcto.

```
!python3 Src/main.py --accuracyBinaryNeuralNetwork numeric numeric_asl_alphabet_gray_150x150px-sign_gesture_gray_150x150px-sign_gesture_gray_150x150px

[INFO]: Strategy selected: --accuracyBinaryNeuralNetwork
[INFO]: Arguments entered:
    * Signs to train: numeric
    * Neural Network model file: numeric_numeric_asl_alphabet_gray_150x150px-sign_gesture_gray_150x150px-sign_gesture_gray_150x150px_models.zip
[INFO]: The accuracy of the binary neural network of the sign '4' is: 24.80%
[INFO]: The accuracy of the binary neural network of the sign '0' is: 90.26%
[INFO]: The accuracy of the binary neural network of the sign '1' is: 67.02%
[INFO]: The accuracy of the binary neural network of the sign '5' is: 53.60%
[INFO]: The accuracy of the binary neural network of the sign '2' is: 92.00%
[INFO]: The accuracy of the binary neural network of the sign '6' is: 90.37%
[INFO]: The accuracy of the binary neural network of the sign '7' is: 86.38%
[INFO]: The accuracy of the binary neural network of the sign '3' is: 91.89%
[INFO]: The accuracy of the binary neural network of the sign '8' is: 92.13%
[INFO]: The accuracy of the binary neural network of the sign '9' is: 90.60%
[INFO]: The accuracy of the binary neural network of the sign '10' is: 100.00%
[INFO]: The global accuracy is: 21.87%
[INFO]: 0.00% of the correct samples had more than one solution.
[INFO]: Strategy executed successfully
[INFO]: Execution finished
[INFO]: The duration of the execution has been 00:02:21 [hh:mm:ss]
```

Figura 30: *Output* de la ejecución de la estrategia *Accuracy Binary Neural Network* con las señales numéricas.

Estos resultados pueden ser debidos a que el modelo de red neuronal, que se está utilizando, ha sido diseñado para el modelo predictivo multi-clase, no para ser entrenado de forma binaria. Se debería repetir la experimentación del apartado 6.6 con los datos de *training* que se utilizan en este apartado.

Aún haber obtenido una *accuracy* muy reducida en algunos clasificadores, más de la mayoría tienen un valor superior al 90 %. Con los modelos de red neuronal convolucional optimizados puede llegar a ser una solución muy buena para el problema que se está intentando resolver, siempre y cuando se sea consciente del elevado coste computacional que presenta.

7. Propuesta

Explicación de las diferentes estrategias.

Para la estrategia AccuracyDecisionTree hace falta instalar graphviz para poder mostrar (plot) el modelo de ábol de decisión. En el caso de un mac se tiene que hacer con: brew install graphviz

conda install graphviz python-graphviz

<https://www.mikulskibartosz.name/how-to-plot-the-decision-trees-from-xgboost-classifier/>

<https://drive.google.com/file/d/0B0c0MbnP6Nn-eUNRRkVOOGpkbFk/view?resourcekey=0-nVw3WhovKW5FPvPM5GPHfg>

8. Costes del proyecto

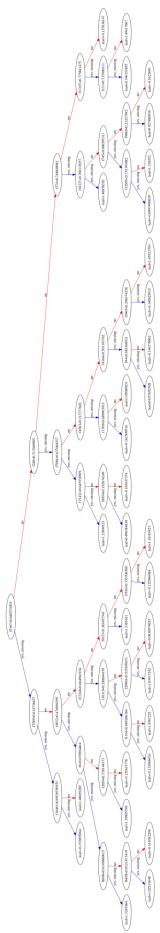
9. Conclusiones y líneas de futuro

9.1. Conclusiones

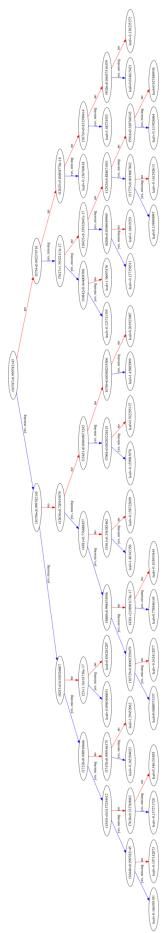
9.2. Líneas de futuro

A. Anexo

A.1. Estructura árbol de decisión con el dataset *Sign Language Gesture Images*



A.2. Estructura árbol de decisión con el dataset *Sign Language Gesture Images* preprocesado



Referencias

- [1] Alexey Karpov, Irina Kipyatkova, and Milos Zelezny. Automatic technologies for processing spoken sign languages. *Procedia Computer Science*, 81:201–207, 2016.
- [2] Sara Minnis. Speech disorders. <https://www.healthline.com/health/speech-disorders>, September 2019.
- [3] Jamie Eske. What are speech disorders. <https://www.medicalnewstoday.com/articles/324764>, March 2019.
- [4] Mazziotta JC, Daroff RB, Jankovic J and Pomeroy SL. Apraxia. <https://medlineplus.gov/spanish/ency/article/007472.htm>, June 2020.
- [5] Mazziotta JC, Daroff RB, Jankovic J and Pomeroy SL. Disartria. <https://medlineplus.gov/spanish/ency/article/007470.htm>, August 2020.
- [6] Anthony Goldbloom (Co-founder and CEO). Kaggle. <https://www.kaggle.com>.
- [7] Ahmed Khan. Sign language gesture images dataset. <https://www.kaggle.com/ahmedkhanak1995/sign-language-gesture-images-dataset>, 2019.
- [8] Kareem. Dataset asl test and train. <https://www.kaggle.com/kareemalaa74/dataset-asl-test-and-train>, 2021.
- [9] David Cournapeau. scikit-learn. machine learning in python. <https://scikit-learn.org/stable/>.
- [10] Jason Brownlee. Grid search hyperparameters deep learning model python keras. <https://machinelearningmastery.com/grid-search-hyperparameters-deep-learning-models-python-keras/>, August 2016.
- [11] Jason Brownlee. Weight initialization for deep learning neural networks. <https://machinelearningmastery.com/weight-initialization-for-deep-learning-neural-networks/>, February 2021.
- [12] Aakash Nain, Sayak Paul, and Margaret Maynard-Reid. Keras. <https://keras.io/>.
- [13] Pragati Baheti. 12 types of neural networks activation functions: How to choose? <https://www.v7labs.com/blog/neural-networks-activation-functions>.
- [14] DataTechNotes. Understanding dropout regularization in neural networks with keras in python. <https://www.datatechnotes.com/2019/09/understanding-dropout-regularization-in.html>, December 2019.

- [15] Jason Brownlee. A gentle introduction to dropout for regularizing deep neural networks. <https://machinelearningmastery.com/dropout-for-regularizing-deep-neural-networks/>, December 2018.
- [16] Jason Brownlee. Dropout regularization in deep learning models with keras. <https://machinelearningmastery.com/dropout-regularization-deep-learning-models-keras/>, June 2016.