

# Tabla de contenido

|   |          |
|---|----------|
| <b>1. Introducción</b>  | <b>1</b> |
| 1.1. Motivación . . . . .   | 3        |
| 1.2. Estado del Arte . . . . .  | 4        |
| 1.3. Objetivos . . . . .  | 5        |
| 1.3.1. Objetivos Generales . . . . .                                  | 5        |
| 1.3.2. Objetivos Específicos . . . . .                                | 5        |
| 1.4. Hipótesis de Trabajo y Metodología . . . . .                     | 6        |
| 1.5. Estructura de la Memoria . . . . .                               | 7        |
| <br>  |          |
| <b>2. Marco Teórico</b>   | <b>8</b> |
| 2.1. Paradigmas de Aprendizaje de Maquinas . . . . .                  | 9        |
| 2.2. Redes Neuronales Artificiales . . . . .                          | 11       |
| 2.2.1. Fundamentos de las redes neuronales artificiales . . . . .     | 11       |
| 2.2.2. Redes Neuronales Artificiales y Biológicas . . . . .           | 12       |
| 2.2.3. Características de las Redes Neuronales Artificiales . . . . . | 14       |
| 2.2.4. Tipos de Redes Neuronales . . . . .                            | 15       |
| 2.3. Entrenamiento en Aprendizaje Supervisado . . . . .               | 18       |
| 2.3.1. Gradiente descendente . . . . .                                | 19       |
| 2.3.2. Factor de aprendizaje . . . . .                                | 21       |
| 2.3.3. Generalización y sobreajuste . . . . .                         | 22       |
| 2.3.4. Regularización . . . . .                                       | 23       |
| 2.3.5. Métodos para mejorar el proceso de optimización . . . . .      | 23       |
| 2.3.6. Entrenamiento de Redes Neuronales . . . . .                    | 27       |
| 2.4. Aprendizaje con Ensamblados . . . . .                            | 28       |
| 2.4.1. Boosting . . . . .   | 30       |
| 2.4.2. Bagging . . . . .  | 31       |
| 2.4.3. Stacking . . . . .   | 32       |
| 2.4.4. Métodos de combinación . . . . .                               | 33       |
| 2.5. Diversidad . . . . .   | 36       |
| 2.5.1. Descomposición Ambigua . . . . .                               | 37       |
| 2.5.2. Descomposición Sesgo, Varianza y Covarianza . . . . .          | 37       |
| 2.5.3. Formas de medir la Diversidad . . . . .                        | 38       |
| 2.6. Teoría de la Información para el aprendizaje (ITL) . . . . .     | 41       |
| 2.6.1. Elementos de Teoría de la información . . . . .                | 41       |
| 2.6.2. Correntropía . . . . .   | 44       |
| 2.6.3. Potencial de Información . . . . .                             | 45       |
| 2.6.4. Potencial de Información Cruzado . . . . .                     | 46       |

|   |            |
|---|------------|
| 2.6.5. Otros Criterios ITL para el aprendizaje . . . . .            | 47         |
| <b>3. Diseño e Implementación</b>                                   | <b>49</b>  |
| 3.1. Entrenamiento de Ensamblados y Diversidad . . . . .            | 50         |
| 3.1.1. Aprendizaje con Correlación Negativa (NCL) . . . . .         | 52         |
| 3.1.2. Diversidad y Teoría de la Información . . . . .              | 53         |
| 3.2. Método de Entrenamiento Propuesto: CIPL . . . . .              | 56         |
| 3.2.1. Annealing . . . . .  | 60         |
| 3.2.2. Diversidad en CIPL . . . . .                                 | 60         |
| 3.2.3. Los Hiperparámetros de CIPL . . . . .                        | 61         |
| 3.3. Diseño de librería DeepEnsemble . . . . .                      | 62         |
| 3.3.1. Estructura de los modelos . . . . .                          | 64         |
| 3.3.2. Ejemplo de uso . . . . .                                     | 66         |
| 3.3.3. Requerimientos e Instalación . . . . .                       | 70         |
| <b>4. Análisis de Resultados</b>                                    | <b>71</b>  |
| 4.1. Bases de Datos . . . . .                                       | 72         |
| 4.1.1. Problemas de Regresión . . . . .                             | 72         |
| 4.1.2. Problemas de Clasificación . . . . .                         | 72         |
| 4.2. Pruebas de validación del método CIPL . . . . .                | 74         |
| 4.3. Resultados . . . . .   | 78         |
| 4.3.1. Problemas de Regresión . . . . .                             | 78         |
| 4.3.2. Problemas de Clasificación . . . . .                         | 89         |
| 4.4. Análisis . . . . .   | 104        |
| 4.4.1. Efecto de los hiperparámetros . . . . .                      | 104        |
| 4.4.2. Efecto de variar la cantidad de modelos y neuronas . . . . . | 105        |
| 4.4.3. Comportamiento con ruido y valores atípicos . . . . .        | 106        |
| <b>5. Conclusiones</b>  | <b>108</b> |
| 5.1. Comparación entre NCL y el método CIPL . . . . .               | 109        |
| 5.2. Trabajos Futuros . . . . .                                     | 110        |
| <b>Bibliografía</b>   | <b>111</b> |