

# Tabla de Contenido

Tabla de Contenidos	vi
Índice de Tablas	ix
Índice de Ilustraciones	xi
<b>1. Introducción</b>	<b>1</b>
1.1. Motivación . . . . .	1
1.2. Definición del problema . . . . .	2
1.3. Contexto institucional . . . . .	3
1.4. Objetivos . . . . .	4
1.5. Hipótesis de trabajo y metodología . . . . .	5
1.6. Resultados esperados y alcances . . . . .	6
<b>2. Revisión Bibliográfica y Contextualización</b>	<b>7</b>
2.1. Sistema Nervioso . . . . .	7
2.1.1. Sistema Nervioso Autónomo . . . . .	8
2.2. Medición de carga cognitiva . . . . .	9
2.2.1. Medición por rendimiento . . . . .	9
2.2.2. Medición subjetiva . . . . .	9
2.2.3. Medición psico-fisiológica . . . . .	10
2.3. Medidas psico-fisiológicas . . . . .	11
2.3.1. Seguimiento ocular . . . . .	11
2.3.2. Actividad pupilográfica . . . . .	12
2.3.3. Electroencefalografía . . . . .	14
2.3.4. Actividad electrodérmica . . . . .	16
2.3.5. Actividad del sistema cardiovascular . . . . .	18
2.3.6. Temperatura corporal . . . . .	19
2.4. Selección de características . . . . .	21
2.4.1. Criterio de correlación . . . . .	21
2.4.2. Eliminación recursiva de características . . . . .	22
2.5. Clusterización . . . . .	24
2.5.1. <i>k-means</i> . . . . .	24
2.6. Criterios de validación de clusters . . . . .	26
2.6.1. Visualización de datos . . . . .	27
2.6.2. WSS y Calinski & Harabasz . . . . .	27
2.6.3. Bootstrap . . . . .	28

2.7.	Clasificadores . . . . .	30
2.7.1.	Naive Bayes . . . . .	30
2.7.2.	Máquina de vector de soporte . . . . .	31
2.7.3.	Redes Neuronales Artificiales . . . . .	35
2.8.	Deep Learning . . . . .	39
2.8.1.	Redes neuronales de alimentación profunda . . . . .	39
2.8.2.	Regularización . . . . .	40
2.9.	Estado del Arte . . . . .	42
<b>3.</b>	<b>Estudio Experimental e Implementación</b>	<b>47</b>
3.1.	Instrumentación . . . . .	47
3.1.1.	Unidad <i>GSR+</i> de Shimmer . . . . .	48
3.1.2.	Sensor óptico de pulso de Shimmer . . . . .	50
3.1.3.	Unidad <i>Bridge Amplifier+</i> de Shimmer . . . . .	52
3.1.4.	ECG de tarjeta biomédica todo-en-uno de BITalino . . . . .	54
3.1.5.	EEG Emotiv EPOC . . . . .	56
3.1.6.	<i>Eye Tracker</i> Tobii T120 . . . . .	58
3.2.	Grupo experimental . . . . .	60
3.3.	Diseño experimental . . . . .	60
3.3.1.	Escenarios . . . . .	60
3.3.2.	Preparación del experimento . . . . .	62
3.4.	Procedimiento experimental . . . . .	63
<b>4.</b>	<b>Análisis de Datos</b>	<b>65</b>
4.1.	Definición de observaciones . . . . .	65
4.2.	Descripción y procesamiento de datos . . . . .	65
4.2.1.	Ventanas de tiempo . . . . .	65
4.2.2.	Diámetro pupilar . . . . .	67
4.2.3.	Respuesta electrodérmica (GSR) . . . . .	67
4.2.4.	Electrocardiograma (ECG) . . . . .	69
4.2.5.	Fotopletismograma (PPG) . . . . .	69
4.2.6.	Temperatura (T) . . . . .	70
4.2.7.	Electroencefalograma (EEG) . . . . .	71
4.3.	Extracción de características . . . . .	71
4.3.1.	Diámetro pupilar . . . . .	72
4.3.2.	Respuesta electrodérmica (GSR) . . . . .	72
4.3.3.	Electrocardiograma (ECG) . . . . .	73
4.3.4.	Ritmo cardíaco (HR) . . . . .	73
4.3.5.	Temperatura (T) . . . . .	73
4.3.6.	Electroencefalograma (EEG) . . . . .	73
4.4.	Clusterización y número óptimo de clusters . . . . .	74
4.4.1.	Clusterización por participante . . . . .	74
4.5.	Selección de características . . . . .	76
4.5.1.	Umbral en Matriz de correlación . . . . .	76
4.5.2.	Eliminación Recursiva de Características (RF-RFE) . . . . .	77
4.6.	Clasificación por modelos de aprendizaje . . . . .	82
4.6.1.	Preparación de conjuntos de entrenamiento y prueba . . . . .	82

4.6.2. Naive Bayes y Matriz de correlación . . . . .	83
4.6.3. Naive Bayes y RFE . . . . .	84
4.6.4. Redes Neuronales Artificiales y Matriz de correlación . . . . .	84
4.6.5. Redes Neuronales Artificiales y RFE . . . . .	86
4.6.6. SVM y RFE . . . . .	87
4.6.7. Deep Learning . . . . .	88
<b>5. Resultados</b>	<b>89</b>
5.1. Análisis estadístico . . . . .	89
5.2. Clasificación . . . . .	90
5.2.1. Por algoritmo de aprendizaje . . . . .	90
5.2.2. Por sensores . . . . .	91
<b>Conclusión</b>	<b>92</b>
<b>Bibliografía</b>	<b>96</b>
<b>A. Grupo experimental.</b>	<b>101</b>
<b>B. Resultados de la clasificación. Por participante.</b>	<b>103</b>
B.1. Naive Bayes y selección con matriz de correlación. . . . .	103
B.2. Naive Bayes y selección con RFE. . . . .	105
B.3. Redes Neuronales Artificiales y selección con matriz de correlación. . . . .	107
B.4. Redes Neuronales Artificiales y selección con RFE. . . . .	109
B.5. SVM con kernel lineal y selección con RFE. . . . .	111
B.6. SVM con kernel polinomial de orden 2 y selección con RFE. . . . .	111
B.7. SVM con kernel polinomial de orden 3 y selección con RFE. . . . .	112
B.8. SVM con kernel polinomial de orden 4 y selección con RFE. . . . .	112
B.9. SVM con kernel polinomial de orden 5 y selección con RFE. . . . .	113
B.10.SVM con kernel gaussiano y selección con RFE. . . . .	113
B.11.Deep Learning. . . . .	114

# Índice de Tablas

2.1.	Comparación entre los efectos del SN Simpático y parasimpático. . . . .	8
2.2.	Tabla comparativa de distintas investigaciones de medición de carga cognitiva. . . . .	42
4.1.	Características extraídas por cada señal. . . . .	71
4.2.	Validación clusters usando Media y Varianza. . . . .	75
4.3.	Lista de características obtenidas con selección RFE para cada participante. . . . .	77
4.4.	Resultados de clasificación usando Naive Bayes y matriz de correlación. . . . .	83
4.5.	Promedio de clasificación con Naive Bayes y matriz de correlación por cantidad de clases. . . . .	83
4.6.	Resultados de clasificación usando Naive Bayes y RFE. . . . .	84
4.7.	Promedio de clasificación con Naive Bayes y RFE por cantidad de clases. . . . .	84
4.8.	Resultados de clasificación usando Redes Neuronales Artificiales y matriz de correlación. . . . .	85
4.9.	Promedio de clasificación con Redes Neuronales Artificiales y matriz de correlación por cantidad de clases. . . . .	85
4.10.	Resultados de clasificación usando Redes Neuronales Artificiales y RFE. . . . .	86
4.11.	Promedio de clasificación con Redes Neuronales Artificiales y RFE por cantidad de clases. . . . .	87
4.12.	Promedio de clasificación con SVM y RFE para 2 de clases. . . . .	87
4.13.	Resultados de clasificación usando Deep Learning. . . . .	88
4.14.	Promedio de clasificación con Deep Learning por cantidad de clases. . . . .	88
5.1.	Resultados de ANOVA con medidas repetidas para la data completa. . . . .	89
5.2.	Resultados de ANOVA con medidas repetidas. Media del diámetro pupilar para ventanas de transición y ventanas activas. . . . .	90
5.3.	Resumen de los resultados de clasificación por algoritmo de aprendizaje. . . . .	90
5.4.	Resumen de los resultados de clasificación por sensor. . . . .	92
A.1.	Detalle del grupo experimental. . . . .	101
B.1.	Clasificación con Naive Bayes y matriz de correlación. . . . .	103
B.2.	Clasificación con Naive Bayes y RFE. . . . .	105
B.3.	Clasificación con Redes Neuronales Artificiales y matriz de correlación. . . . .	107
B.4.	Clasificación con Redes Neuronales Artificiales y RFE. . . . .	109
B.5.	Clasificación con SVM con kernel lineal y RFE. . . . .	111
B.6.	Clasificación con SVM con kernel polinomial de orden 2 y RFE. . . . .	111
B.7.	Clasificación con SVM con kernel polinomial de orden 3 y RFE. . . . .	112

B.8. Clasificación con SVM con kernel polinomial de orden 4 y RFE. . . . .	112
B.9. Clasificación con SVM con kernel polinomial de orden 5 y RFE. . . . .	113
B.10. Clasificación con SVM con kernel gaussiano y RFE. . . . .	113
B.11. Clasificación con Deep Learning. . . . .	114

# Índice de Ilustraciones

2.1. Esquema básico del sistema nervioso. . . . .	8
2.2. Medidas psico-fisiológicas según su sistema biológico. . . . .	10
2.3. Modelo de Eye tracker glasses. . . . .	12
2.4. Método del Eye tracker. . . . .	12
2.5. Estructura del globo ocular. . . . .	13
2.6. Ondas cerebrales. . . . .	14
2.7. Sistema internacional 10-20 para la colocación de los electrodos para EEG. . . . .	15
2.8. Ejemplo de registro de EEG. . . . .	15
2.9. Esquema de posición de los electrodos para medir la señal GSR. . . . .	17
2.10. Señal característica GSR y sus componentes fásica y tónica. . . . .	17
2.11. Configuración de electrodos ECG Lead II. . . . .	18
2.12. Ciclo cardíaco ideal. . . . .	19
2.13. Diferencia de temperatura en imagen térmica. . . . .	20
2.14. Ilustración del algoritmo <i>k-means</i> . . . . .	25
2.15. Generación de hiperplano SVM caso separable. . . . .	32
2.16. Generación de hiperplano SVM caso no separable. . . . .	33
2.17. Mapeo de características para el caso no lineal. . . . .	34
2.18. Ejemplo de red neuronal artificial. . . . .	35
2.19. Esquema de una neurona artificial. . . . .	36
2.20. Funciones de activación más comunes. . . . .	37
2.21. Función de activación lineal rectificadas. . . . .	40
3.1. Diagrama de pasos en un experimento de <i>machine learning</i> . . . . .	47
3.2. Unidad <i>GSR+</i> de Shimmer. . . . .	48
3.3. Ejemplo de medición de señal GSR. . . . .	49
3.4. Ejemplo de posición de electrodos para el dispositivo <i>GSR+</i> de Shimmer. . . . .	49
3.5. Conexión de foto-sensor a la unidad <i>GSR+</i> de Shimmer. . . . .	50
3.6. Ejemplo de señal PPG medida con el sensor óptico de pulso de Shimmer. . . . .	51
3.7. Posición sensor en lóbulo de la oreja. . . . .	52
3.8. Unidad <i>Bridge Amplifier+</i> de Shimmer. . . . .	53
3.9. Sonda del sensor de temperatura corporal de Shimmer. . . . .	53
3.10. Tarjeta biomédica todo-en-uno de BITalino. . . . .	54
3.11. Ejemplo de posicionamiento de los electrodos para la medición de ECG. . . . .	55
3.12. Emotiv EPOC EEG. . . . .	56
3.13. Verificación de la posición del sensor Emotiv EPOC EEG. . . . .	57
3.14. Posición del sensor Emotiv EPOC EEG. . . . .	57

3.15. Tobii T120. Eye Tracker usado en los experimentos. . . . .	58
3.16. Ejemplo de mediciones en Tobii Studio. . . . .	59
3.17. Posición del Eye tracker Tobii T120. . . . .	59
3.18. Ejemplo de página ficticia para el experimento. . . . .	61
3.19. Laboratorio donde se llevan a cabo los experimentos. . . . .	62
3.20. Diagrama de sensores que se conectan a los participantes. . . . .	63
3.21. Participante con los sensores mientras ejecuta el experimento. . . . .	64
4.1. Histogramas de la cantidad de ventanas según su largo. . . . .	66
4.2. Señal de dilatación pupilar procesada. . . . .	67
4.3. Señal GSR procesada. . . . .	68
4.4. Componente física obtenida de la señal GSR. . . . .	68
4.5. Señal ECG procesada. . . . .	69
4.6. Señal PPG procesada. . . . .	70
4.7. Señal de temperatura corporal procesada. . . . .	70
4.8. Ejemplo de clusterización. . . . .	75