

# CONTENIDO

---

A quién está dirigido <i>Inteligencia artificial con aplicaciones a la ingeniería</i>	XIX
Acceso al material complementario	XX
Prefacio	XXI
Por qué la inteligencia artificial	XXII
<b>CAPÍTULO 1: INTELIGENCIA ARTIFICIAL</b>	<b>1</b>
<b>INTRODUCCIÓN</b>	<b>1</b>
<b>ANTECEDENTES DE LA INTELIGENCIA ARTIFICIAL</b>	<b>1</b>
<b>RAMAS QUE COMPONEN LA INTELIGENCIA ARTIFICIAL</b>	<b>2</b>
<b>LÓGICA DIFUSA</b>	<b>3</b>
Introducción	3
Historia de la lógica difusa	3
<b>REDES NEURALES ARTIFICIALES</b>	<b>6</b>
Introducción	6
Historia de las redes neurales	6
Perceptrón	8
Redes de retropropagación (backpropagation)	9
<b>ALGORITMOS GENÉTICOS</b>	<b>12</b>
Introducción	12
Historia de los algoritmos genéticos	12
Definiciones	13
Herencia	14
¿Qué es herencia?	14
El código genético	15
Selección natural	15
Operaciones genéticas en cadenas binarias	17
Selección	17
Cruzamiento	17
Mutación	19
<b>RESUMEN</b>	<b>19</b>
<b>EJEMPLOS</b>	<b>20</b>
<b>APLICACIONES</b>	<b>21</b>
1. Desentrelazado de señales de video con lógica difusa	21
Procedimiento	22
Conclusiones	25
2. Marcadores anatómicos de los ventrículos del corazón	25
Procedimiento	25
Resultados	26
Conclusiones	27
3. Segmentación de imágenes cerebrales de resonancia magnética basada en redes neuronales	27
Procedimiento	28
Resultados y conclusiones	29
Referencias	29
4. Optimización de sistemas para tratamiento de agua (Austria, lógica difusa)	29
5. Monitoreo de glaucoma a través de redes neuronales	30
6. Algoritmos genéticos para el diseño de sistemas de MRI (magnetic resonance imaging)	32

<b>CAPÍTULO 2: LÓGICA DIFUSA</b>	<b>33</b>
<b>INTRODUCCIÓN</b>	<b>33</b>
Qué es una variable lingüística	34
Aplicaciones	34
Cámaras de video	34
Reconocimiento	34
Controladores	35
Sistemas de control en lazo abierto	35
Sistema de control en lazo cerrado	35
Uso de lógica difusa en el Transporte	35
Uso de lógica difusa en los sistemas de control	36
<b>CONCEPTOS DE LÓGICA BOOLEANA Y DIFUSA</b>	<b>36</b>
<b>LÓGICA BOOLEANA</b>	<b>38</b>
Axiomas de los conjuntos convencionales	39
Operaciones en la lógica convencional	39
Leyes de De Morgan	40
<b>LÓGICA DIFUSA</b>	<b>40</b>
Lógica simbólica	41
Tautologías y quasi-tautologías	42
Representación de conjuntos difusos discretos	42
Operaciones en la lógica difusa empleando conjuntos difusos	43
Ejemplo de programa de operación difusa realizado en MATLAB®	43
Norma triangular (T)	44
Co-normas T (normas S)	45
Aseveraciones booleanas aplicadas a la lógica difusa	45
Operaciones entre conjuntos difusos	47
Producto de dos conjuntos difusos	47
Potencia de un conjunto difuso	47
Concentración	47
Dilación	48
Intensificación de contraste	48
Corte alfa	49
Propiedades de los conjuntos difusos	49
Funciones de membresía y sus partes básicas	49
Función de saturación	50
Función hombro	50
Función triangular	51
Función trapecio o Pi	52
Función "S" o sigmoideal	52
Descripción matemática de las funciones de membresía	53
Aplicaciones reales de las distintas funciones de membresía	54
Partes de una función de membresía	56
Cálculo de función de pertenencia	56
1. Método HORIZONTAL	57
2. Método VERTICAL	57
3. Método de comparación de parejas (Saaty, 1980)	57
4. Método basado en la especificación del problema	58
5. Método basado en la optimización de parámetros	58
6. Método basado en la agrupación difusa (Fuzzy Clustering)	58
El principio de extensión: generalización	58

<b>PRINCIPIO DE EXTENSIÓN</b>	<b>61</b>
<b>NÚMEROS DIFUSOS</b>	<b>61</b>
Suma de números difusos	62
<b>RELACIONES NÍTIDAS Y DIFUSAS</b>	<b>64</b>
Producto cartesiano	64
Relaciones nítidas	64
Relaciones difusas	65
Composición	65
Composición sup-estrella	68
Operaciones con relaciones difusas	69
Unión	69
Intersección	69
Complemento	69
Producto cartesiano difuso y composición	69
Reglas difusas	69
Modus ponens y modus tollens	70
<b>CONTROLADORES DIFUSOS</b>	<b>71</b>
Interfaz de difusificación	72
Base de conocimientos	72
Lógica de decisiones	73
Interfaz de desdifusificación	73
Método de centro de área o gravedad	74
Método de centro máximo	75
Método de izquierda máximo	76
Método de derecha máximo	76
Aproximación de sistemas difusos	77
Definición de las entradas y salidas del sistema	78
Ejemplo de un sistema difuso con retardos en la información para aproximaciones difusas	80
Funciones de membresía	80
Reglas lingüísticas	80
Superficie de salida	81
Diseño de controladores con base en Mamdani	81
Ejemplo	82
Aplicaciones reales de controladores difusos	85
Controlador difuso clásico	86
Ejemplo	90
Controladores P	91
Controladores PD	92
Controladores PI	94
Controlador PID	95
Simulación de un Control PID difuso	103
Controlador difuso con PID convencional como respaldo	104
Controlador difuso como sintonizador de PID convencional	104
Concepto de estabilidad	104
Punto de equilibrio	104
Asintóticamente estable	105
Entrada-cero de estabilidad	105
Teorema 1. (Estabilidad de Lyapunov para sistemas autónomos)	106
Estabilidad de Lyapunov para sistemas difusos	107
Teorema	107
La construcción para muestreo de datos	107

Controlador difuso-convencional autosintonizable por lógica difusa	108
Método Ziegler-Nichols	109
Controlador proporcional difuso	109
PD autosintonizable	112
PI autosintonizable	113
PID autosintonizable	114
Análisis de resultados	115
Autosintonización vs. Ziegler-Nichols	116
Controlador difuso como programador de ganancias para PID	120
Estabilidad	120
Diseño con base en Sugeno	121
Ejemplo	121
<b>ALGORITMO DEL RAZONAMIENTO</b>	<b>122</b>
Ejemplo	122
Diseño digital con base en estabilidad	123
Ejemplo	126
<b>EJEMPLO SISTEMA DIFUSO SUGENO</b>	<b>127</b>
<b>EJEMPLO DE MOTOR DC</b>	<b>129</b>
<b>EJEMPLO DE SISTEMA DE 2 ENTRADAS</b>	<b>131</b>
<b>MÉTODOS DE INFERENCIA</b>	<b>132</b>
Método de Tsukamoto	132
Método de Larsen	132
Resumen de mecanismos de inferencia	132
<b>AGRUPAMIENTOS DIFUSOS</b>	<b>133</b>
Validez de un cluster	133
Clusters nítidos	134
Ejemplo	135
Clusters difusos	138
Ejemplo	139
Aplicaciones reales de los agrupamientos difusos	141
Aproximaciones de sistemas reales por el método de Sugeno	143
Aproximación de un deshumidificador desecante	146
Aproximación de un potenciómetro	147
Aproximación de un sensor óptico	149
Ejemplo de aplicación de método para optimización de clusters con lógica difusa tipo Mamdani	150
Calculadora difusa por método Mamdani	155
Caracterización de un controlador tipo PID mediante un controlador tipo Sugeno	156
Controlador difuso basado en control directo del par (DTC)	159
Control de velocidad sin sensores usando control directo del par (DTC) basado en la modulación del ancho de pulso mediante vectores espaciales (SVPWM)	162
Agrupamientos difusos con pesos	164
Segmentación de imágenes médicas a través de agrupamientos difusos	166
Aproximación de un modelado de sentimientos humanos basado en el reconocimiento de expresiones faciales con lógica difusa	168
Aproximación a los sentimientos humanos a través de lógica difusa	169
<b>PROGRAMAS BÁSICOS EN MATLAB®</b>	<b>172</b>
<b>SATURACIÓN</b>	<b>172</b>
<b>HOMBRO</b>	<b>172</b>
<b>TRIANGULAR</b>	<b>173</b>
<b>TRAPEZOIDAL</b>	<b>174</b>
<b>SIGMOIDAL</b>	<b>175</b>

<b>CLUSTERS DIFUSOS Y SISTEMA SUGENO</b>	<b>176</b>
<b>CALCULADORA DIFUSA MATLAB®</b>	<b>179</b>
<b>CAPÍTULO 3 REDES NEURALES ARTIFICIALES</b>	<b>193</b>
<b>REDES NEURALES BIOLÓGICAS</b>	<b>193</b>
Fundamentos biológicos de las redes neurales naturales	193
Máquinas inteligentes	194
Sistema eléctrico neuronal	195
<b>MODELOS DE NEURONAS</b>	<b>196</b>
Ruido	197
Neuronas de dos estados	197
La neurona genérica	197
<b>APLICACIONES DE LAS REDES NEURALES ARTIFICIALES (RNA)</b>	<b>198</b>
<b>DEFINICIÓN DE UNA RED NEURONAL ARTIFICIAL</b>	<b>198</b>
<b>FUNCIONES DE ACTIVACIÓN</b>	<b>199</b>
Función escalón	200
Función lineal y mixta	200
Función tangente hiperbólica	201
Función sigmoideal	201
Función de Gauss	202
<b>TOPOLOGÍAS DE LAS REDES NEURALES</b>	<b>202</b>
Elementos de una red neuronal artificial	202
<b>ENTRENAMIENTO DE LAS REDES NEURALES</b>	<b>203</b>
<b>REDES DE UNA CAPA</b>	<b>203</b>
Perceptrón	204
Separación de variables linealmente separables con el perceptrón	206
<b>ADALINE (Adaptive Linear Neuron)</b>	<b>208</b>
Problema del operador lógico XOR por uso del perceptrón	210
Desarrollo	210
<b>OR</b>	<b>211</b>
<b>AND</b>	<b>212</b>
<b>XOR</b>	<b>212</b>
Control de un motor de pasos con un grupo de perceptrones	216
Teorema de Kolmogorov	224
<b>REDES MULTICAPA</b>	<b>224</b>
Perceptrón multicapa	225
Redes de retropropagación (backpropagation)	225
Principios para entrenar una red multicapa empleando el algoritmo de retropropagación	225
Redes neurales - Retropropagación del error	228
Capas intermedias	230
Algoritmo de retropropagación con momento (Backpropagation with Momentum)	231
<b>DISEÑO DE FILTROS FIR CON REDES NEURALES ARTIFICIALES</b>	<b>232</b>
Filtro	232
Filtros adaptativos digitales	233
Emulación del filtro empleando una red neuronal programada en MATLAB®	234
<b>EJEMPLO RECONOCIMIENTO DE LETRAS EMPLEANDO ENTRENAMIENTO DE RETROPROPAGACIÓN DEL ERROR</b>	<b>234</b>
Resultados	235
<b>REDES AUTOORGANIZABLES</b>	<b>236</b>
Aprendizaje asociativo	236

Red de una sola neurona	237
Tipos de estímulos	237
Ejemplo	237
Interpretación de la Regla de Hebb en asociadores lineales	238
<b>TOPOLOGÍA DE REDES NEURONALES EMPLEADAS PARA LA CLASIFICACIÓN, PREDICCIÓN Y RECONOCIMIENTO DE PATRONES</b>	<b>238</b>
Red Instar	238
Red Outstar	239
Redes Competitivas	239
Red de Kohonen	240
Red de Hamming	241
Mapas de Autoorganización (SOM)	241
Learning Vector Quantization (LVQ)	241
Redes Recurrentes	242
Red Hopfield	242
Redes ANFIS	244
Algoritmo de un sistema ANFIS	247
Algoritmo de entrenamiento para ANFIS	248
Arquitectura de ANFIS	256
Método de mínimos cuadrados	258
Mínimos cuadrados recursivos	259
Ejemplo ANFIS con línea de comandos	259
Ejemplo sistema ANFIS empleando ANFIS EDIT de MATLAB®	260
Empleo de función Genfis1	265
<b>EJEMPLO DE UN SISTEMA ANFIS Y DIFUSO PARA EL MODELADO DE MÁQUINAS DE CORRIENTE ALTERNA, EN UN ESQUEMA DE CONTROL VECTORIAL</b>	<b>267</b>
Introducción	267
Etapas del control difuso tipo Sugeno	268
Fusificación	268
Evaluación de reglas	268
Desarrollo	268
Control vectorial	268
Modelo difuso del motor de inducción	271
Fusificación	271
Edición de reglas	272
Modelo ANFIS del motor de inducción	273
Control vectorial difuso	275
<b>APROXIMADOR NEURO-DIFUSO CON CLUSTERS Y REDES NEURALES TRIGONOMÉTRICAS</b>	<b>277</b>
Entrenamiento de retropropagación	279
Redes neurales basadas en Fourier	280
Cálculo de la función de la red neuronal basada en Fourier	281
Establecimiento de los pesos	282
<b>CAPÍTULO 4 ALGORITMOS GENÉTICOS</b>	<b>285</b>
<b>CHARLES DARWIN Y LA TEORÍA DE LA EVOLUCIÓN</b>	<b>285</b>
<b>ALGORITMOS GENÉTICOS</b>	<b>287</b>
Introducción	287
Algoritmos genéticos	289
Definiciones	290

Operaciones genéticas en cadenas binarias	292
Selección	292
Cruzamiento	293
Mutación	294
Algoritmo	294
Resumen	295
Ejemplo	296
Análisis	297
El Teorema del Schema	298
La óptima asignación de los procesos	300
Paralelismo implícito	300
Conjunto difuso de sintonización	301
Codificación de un subconjunto difuso en un intervalo	301
Funciones de aptitud estándar	302
<b>CAPÍTULO 5 EJEMPLO DE AG EN MATLAB®</b>	<b>306</b>
<b>DETERMINAR LA IMPEDANCIA NECESARIA DE UN COMPONENTE PARA QUE UN CIRCUITO AC LE TRANSFIERA LA MÁXIMA POTENCIA DE ENERGÍA</b>	<b>306</b>
Introducción	306
Aplicaciones	306
Problema de máxima transferencia de potencia	306
El algoritmo genético	307
1. Problema de optimización	307
2. Representación	308
3. Población inicial	308
4. Evaluación	309
5. Crear una nueva población	310
<b>ALGORITMOS GENÉTICOS</b>	<b>313</b>
<b>ALGORITMO GENÉTICO BÁSICO CONVENCIONAL BINARIO</b>	<b>313</b>
<b>ALGORITMO GENERACIÓN DE NUEVOS INDIVIDUOS MEDIANTE OPERACIONES DE CRUZA Y MUTACIÓN</b>	<b>314</b>
<b>ALGORITMO DE SELECCIÓN PROPORCIONAL O RULETA</b>	<b>315</b>
<b>ARCHIVOS M DE MATLAB® PARA EL ALGORITMO</b>	<b>315</b>
<b>MAIN</b>	<b>315</b>
<b>FUNCIÓN OBJETIVO</b>	<b>316</b>
<b>EVAL. POBLACIÓN</b>	<b>319</b>
<b>EVAL. EACH</b>	<b>319</b>
<b>CONVERTIR BIT2NUM</b>	<b>320</b>
<b>NEXT POPULATION</b>	<b>320</b>
<b>Anexo A MATLAB® GENETIC ALGORITHMS TOOLBOX</b>	
Introducción	323
<b>Sección 1. Declaración de función aptitud y restricciones</b>	<b>324</b>
Fitness function/Función aptitud	324
Number of variables/ Número de variables	324
Constraints/ Restricciones	326
Linear inequalities/ Desigualdades lineales	326
<b>Sección 2. Área de gráficos</b>	<b>327</b>
Plot interval/Intervalo de trazado	327
Best fitness/Mejor aptitud	328

Best individual/Mejor individuo	328
Distance/Distancia	329
Expectation/Expectativa	329
Genealogy/Genealogía	330
Range/Rango	330
Score diversity/Diversidad de puntuación	331
Scores/Puntuación o ponderación	331
Selection/Selección	332
Stopping/Detención	332
Max constrain/Máxima violación	333
Custom function/Función personalizada	333
<b>Sección 3. Resultados de la función aptitud</b>	<b>333</b>
Use random status from previous run/ Uso aleatorio de la corrida anterior	334
Current generation/Generación actual	334
Status and results/ Estado y resultado	334
<b>Sección 4. Alternativas de optimización para la función aptitud</b>	<b>335</b>
Population /Población	335
Population Type /Tipo de la población	335
Creation function/Función de la creación (CreationFcn)	336
InitialPopulation/Población inicial	336
InicialScores/Puntuación inicial	336
PopInitRange /Rango inicial	336
Fitness Scaling/Escala de la función de ajuste o evaluación	336
FitnessScalingFcn/Función del escalamiento	336
Shift linear/Cambio Lineal (@fitscalingshiftlinear)	337
Custom/Personalizado	337
Selection/Selección	338
Stochastic Uniform/ Estocástico uniforme (@ selectionstochunif)	338
Remainder/Resto (@ selectionremainder)	338
Uniform/Uniforme (@ selectionuniform)	338
Roulette/Ruleta (@ selectionroulette)	338
Tournament/Torneo (@ selectiontournament)	338
Custom/Personalizado	338
Reproduction/Reproducción	339
Elite Count/Conteo elite	339
Crossover fraction/Fracción de cruzamiento	339
Mutation/Mutación	339
Mutation function/Función mutación	340
Uniform/Uniforme (mutación uniforme)	341
Custom/personalizado	341
Crossover/Cruzamiento	341
Scattered/Dispersos (@ crossoversscattered)	341
Single Point/Un solo punto (@ crossoverssinglepoint)	342
Two point/Dos puntos (@ crossoverstwopoint)	342
Intermediate/Intermedio (@ crossoverintermediate)	342
Heuristic/Heurística (@ crossoverheuristic)	343
Custom/Personalizado	343
Migration/Migración	343
Direction/Dirección (MigrationDirection)	344
Interval/Intervalo	344
Fraction/Fracción	344



Algorithm settings/Parámetros del algoritmo	344
Initial penalty/Penalidad inicial	344
Penalty factor/Factor de penalización	344
Hybrid Function/Función de hibridación	345
Stopping Criteria/Criterio de detención	345
Generations/Generaciones	345
Time Limit/Tiempo límite	345
Fitness Limit/Límite de ajuste	345
Stall Generations/ Generaciones recesivas	345
Stall Time/ Tiempo de retardo (StallTimeLimit)	346
Output Function/Función de salida	346
History to new window/Historia de una nueva ventana (@gaoutputgen)	346
Custom/Personalizado	346
Estructura de la función de salida	346
Display to command window/Despliegue en la ventana de comandos	346
Vectorize/Vectorizar	347
Referencias	347
Bibliografía	348