

# Contenido



UNIVERSIDAD NACIONAL DE ENTRE RÍOS  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
CENTRO DE MEDIO  
BIBLIOTECA

<b>Prólogo</b>	<b>XIX</b>
<b>Sobre los autores</b>	<b>XXV</b>
<b>1 Introducción</b>	<b>1</b>
1.1 ¿Qué es la IA? .....	2
Comportamiento humano: el enfoque de la Prueba de Turing .....	3
Pensar como un humano: el enfoque del modelo cognitivo .....	3
Pensamiento racional: el enfoque de las «leyes del pensamiento» .....	4
Actuar de forma racional: el enfoque del agente racional .....	5
1.2 Los fundamentos de la inteligencia artificial .....	6
Filosofía (desde el año 428 a.C. hasta el presente) .....	6
Matemáticas (aproximadamente desde el año 800 al presente) .....	9
Economía (desde el año 1776 hasta el presente) .....	11
Neurociencia (desde el año 1861 hasta el presente) .....	12
Psicología (desde el año 1879 hasta el presente) .....	14
Ingeniería computacional (desde el año 1940 hasta el presente) .....	16
Teoría de control y cibernética (desde el año 1948 hasta el presente) .....	17
Lingüística (desde el año 1957 hasta el presente) .....	18
1.3 Historia de la inteligencia artificial .....	19
Génesis de la inteligencia artificial (1943-1955) .....	19
Nacimiento de la inteligencia artificial (1956) .....	20
Entusiasmo inicial, grandes esperanzas (1952-1969) .....	21
Una dosis de realidad (1966-1973) .....	24
Sistemas basados en el conocimiento: ¿clave del poder? (1969-1979) .....	26
La IA se convierte en una industria (desde 1980 hasta el presente) .....	28
Regreso de las redes neuronales (desde 1986 hasta el presente) .....	29
IA se convierte en una ciencia (desde 1987 hasta el presente) .....	29
Emergencia de los sistemas inteligentes (desde 1995 hasta el presente) .....	31
1.4 El estado del arte .....	32
1.5 Resumen .....	33
Notas bibliográficas e históricas .....	34
Ejercicios .....	35
<b>2 Agentes inteligentes</b>	<b>37</b>
2.1 Agentes y su entorno .....	37
2.2 Buen comportamiento: el concepto de racionalidad .....	40
Medidas de rendimiento .....	40
Racionalidad .....	41

	Omnisciencia, aprendizaje y autonomía .....	42
2.3	La naturaleza del entorno .....	44
	Especificación del entorno de trabajo .....	44
	Propiedades de los entornos de trabajo .....	47
2.4	Estructura de los agentes .....	51
	Programas de los agentes .....	51
	Agentes reactivos simples .....	53
	Agentes reactivos basados en modelos .....	55
	Agentes basados en objetivos .....	57
	Agentes basados en utilidad .....	58
	Agentes que aprenden .....	59
2.5	Resumen .....	62
	Notas bibliográficas e históricas .....	63
	Ejercicios .....	65
<b>3</b>	<b>Resolver problemas mediante búsqueda</b> .....	<b>67</b>
3.1	Agentes resolventes-problemas .....	67
	Problemas y soluciones bien definidos .....	70
	Formular los problemas .....	71
3.2	Ejemplos de problemas .....	72
	Problemas de juguete .....	73
	Problemas del mundo real .....	76
3.3	Búsqueda de soluciones .....	78
	Medir el rendimiento de la resolución del problema .....	80
3.4	Estrategias de búsqueda no informada .....	82
	Búsqueda primero en anchura .....	82
	Búsqueda de costo uniforme .....	84
	Búsqueda primero en profundidad .....	85
	Búsqueda de profundidad limitada .....	87
	Búsqueda primero en profundidad con profundidad iterativa .....	87
	Búsqueda bidireccional .....	89
	Comparación de las estrategias de búsqueda no informada .....	91
3.5	Evitar estados repetidos .....	91
3.6	Búsqueda con información parcial .....	94
	Problemas sin sensores .....	95
	Problemas de contingencia .....	96
3.7	Resumen .....	97
	Notas bibliográficas e históricas .....	98
	Ejercicios .....	100
<b>4</b>	<b>Búsqueda informada y exploración</b> .....	<b>107</b>
4.1	Estrategias de búsqueda informada (heurísticas) .....	107
	Búsqueda voraz primero el mejor .....	108
	Búsqueda A*: minimizar el costo estimado total de la solución .....	110
	Búsqueda heurística con memoria acotada .....	115
	Aprender a buscar mejor .....	118
4.2	Funciones heurísticas .....	119
	El efecto de la precisión heurística en el rendimiento .....	120
	Inventar funciones heurísticas admisibles .....	121
	Aprendizaje de heurísticas desde la experiencia .....	124
4.3	Algoritmos de búsqueda local y problemas de optimización .....	125

	Búsqueda de ascensión de colinas .....	126
	Búsqueda de temple simulado .....	129
	Búsqueda por haz local .....	131
	Algoritmos genéticos .....	131
4.4	Búsqueda local en espacios continuos .....	136
4.5	Agentes de búsqueda <i>online</i> y ambientes desconocidos .....	138
	Problemas de búsqueda en línea ( <i>online</i> ) .....	138
	Agentes de búsqueda en línea ( <i>online</i> ) .....	141
	Búsqueda local en línea ( <i>online</i> ) .....	142
	Aprendizaje en la búsqueda en línea ( <i>online</i> ) .....	144
4.6	Resumen .....	145
	Notas bibliográficas e históricas .....	146
	Ejercicios .....	151
<b>5</b>	<b>Problemas de satisfacción de restricciones</b> .....	<b>155</b>
5.1	Problemas de satisfacción de restricciones .....	155
5.2	Búsqueda con vuelta atrás para PSR .....	159
	Variable y ordenamiento de valor .....	162
	Propagación de la información a través de las restricciones .....	163
	Comprobación hacia delante .....	163
	Propagación de restricciones .....	164
	Manejo de restricciones especiales .....	166
	Vuelta atrás inteligente: mirando hacia atrás .....	167
5.3	Búsqueda local para problemas de satisfacción de restricciones .....	169
5.4	La estructura de los problemas .....	171
5.5	Resumen .....	175
	Notas bibliográficas e históricas .....	176
	Ejercicios .....	178
<b>6</b>	<b>Búsqueda entre adversarios</b> .....	<b>181</b>
6.1	Juegos .....	181
6.2	Decisiones óptimas en juegos .....	183
	Estrategias óptimas .....	183
	El algoritmo minimax .....	185
	Decisiones óptimas en juegos multi-jugador .....	186
6.3	Poda alfa-beta .....	188
6.4	Decisiones en tiempo real imperfectas .....	191
	Funciones de evaluación .....	192
	Corte de la búsqueda .....	194
6.5	Juegos que incluyen un elemento de posibilidad .....	196
	Evaluación de la posición en juegos con nodos de posibilidad .....	198
	Complejidad del minimaxesperado .....	199
	Juegos de cartas .....	200
6.6	Programas de juegos .....	202
6.7	Discusión .....	205
6.8	Resumen .....	207
	Notas bibliográficas e históricas .....	208
	Ejercicios .....	212
<b>7</b>	<b>Agentes lógicos</b> .....	<b>217</b>
7.1	Agentes basados en conocimiento .....	219
7.2	El mundo de <i>wumpus</i> .....	221

7.3	Lógica	224
7.4	Lógica proposicional: una lógica muy sencilla	229
	Sintaxis	229
	Semántica	230
	Una base de conocimiento sencilla	233
	Inferencia	233
	Equivalencia, validez y <i>satisfacibilidad</i>	235
7.5	Patrones de razonamiento en lógica proposicional	236
	Resolución	239
	Forma normal conjuntiva	241
	Un algoritmo de resolución	242
	Completitud de la resolución	243
	Encadenamiento hacia delante y hacia atrás	244
7.6	Inferencia proposicional efectiva	248
	Un algoritmo completo con <i>backtracking</i> («vuelta atrás»)	248
	Algoritmos de búsqueda local	249
	Problemas duros de <i>satisfacibilidad</i>	251
7.7	Agentes basados en lógica proposicional	253
	Encontrar hoyos y <i>wumpus</i> utilizando la inferencia lógica	253
	Guardar la pista acerca de la localización y la orientación del agente	255
	Agentes basados en circuitos	256
	Una comparación	260
7.8	Resumen	261
	Notas bibliográficas e históricas	262
	Ejercicios	266
<b>8</b>	<b>Lógica de primer orden</b>	<b>271</b>
8.1	Revisión de la representación	271
8.2	Sintaxis y semántica de la lógica de primer orden	277
	Modelos en lógica de primer orden	277
	Símbolos e interpretaciones	278
	Términos	280
	Sentencias atómicas	281
	Sentencias compuestas	281
	Cuantificadores	281
	Cuantificador universal ( $\forall$ )	282
	Cuantificación existencial ( $\exists$ )	283
	Cuantificadores anidados	284
	Conexiones entre $\forall$ y $\exists$	285
	Igualdad	286
8.3	Utilizar la lógica de primer orden	287
	Aserciones y peticiones en lógica de primer orden	287
	El dominio del parentesco	288
	Números, conjuntos y listas	290
	El mundo de <i>wumpus</i>	292
8.4	Ingeniería del conocimiento con lógica de primer orden	295
	El proceso de ingeniería del conocimiento	296
	El dominio de los circuitos electrónicos	297
	Identificar la tarea	298
	Recopilar el conocimiento relevante	298
	Decidir el vocabulario	299

	Codificar el conocimiento general del dominio .....	300
	Codificar la instancia del problema específico .....	300
	Plantear peticiones al procedimiento de inferencia .....	301
	Depurar la base de conocimiento .....	301
8.5	Resumen .....	302
	Notas bibliográficas e históricas .....	303
	Ejercicios .....	304
<b>9</b>	<b>Inferencia en lógica de primer orden</b> .....	<b>309</b>
9.1	Lógica proposicional vs. Lógica de primer orden .....	310
	Reglas de inferencia para cuantificadores .....	310
	Reducción a la inferencia proposicional .....	311
9.2	Unificación y sustitución .....	312
	Una regla de inferencia de primer orden .....	313
	Unificación .....	314
	Almacenamiento y recuperación .....	315
9.3	Encadenamiento hacia delante .....	318
	Cláusulas positivas de primer orden .....	318
	Un algoritmo sencillo de encadenamiento hacia delante .....	320
	Encadenamiento hacia delante eficiente .....	322
	Emparejar reglas con los hechos conocidos .....	322
	Encadenamiento hacia delante incremental .....	324
	Hechos irrelevantes .....	326
9.4	Encadenamiento hacia atrás .....	326
	Un algoritmo de encadenamiento hacia atrás .....	327
	Programación lógica .....	328
	Implementación eficiente de programas lógicos .....	330
	Inferencia redundante y bucles infinitos .....	332
	Programación lógica con restricciones .....	334
9.5	Resolución .....	335
	Formas normales conjuntivas en lógica de primer orden .....	336
	La regla de inferencia de resolución .....	338
	Demostraciones de ejemplo .....	338
	Completitud de la resolución .....	341
	Manejar la igualdad .....	345
	Estrategias de resolución .....	346
	Resolución unitaria .....	346
	Resolución mediante conjunto soporte .....	347
	Resolución lineal .....	347
	Subsunción .....	347
	Demostradores de teoremas .....	348
	Diseño de un demostrador de teoremas .....	348
	Ampliar el Prolog .....	349
	Demostradores de teoremas como asistentes .....	350
	Usos prácticos de los demostradores de teoremas .....	351
9.6	Resumen .....	352
	Notas bibliográficas e históricas .....	353
	Ejercicios .....	359
<b>10</b>	<b>Representación del conocimiento</b> .....	<b>363</b>
10.1	Ingeniería ontológica .....	363
10.2	Categoría y objetos .....	366

	Objetos compuestos .....	368
	Medidas .....	369
	Sustancias y objetos .....	371
10.3	Acciones, situaciones y eventos .....	373
	La ontología del cálculo de situaciones .....	373
	Descripción de acciones en el cálculo de situaciones .....	375
	Resolver el problema de la representación del marco .....	377
	Resolver el problema de la inferencia del marco .....	379
	El tiempo y el cálculo de eventos .....	380
	Eventos generalizados .....	381
	Procesos .....	383
	Intervalos .....	384
	Flujos y objetos .....	386
10.4	Eventos mentales y objetos mentales .....	387
	Una teoría formal de creencias .....	387
	Conocimiento y creencia .....	389
	Conocimiento, tiempo y acción .....	390
10.5	El mundo de la compra por Internet .....	391
	Comparación de ofertas .....	395
10.6	Sistemas de razonamiento para categorías .....	397
	Redes semánticas .....	397
	Lógica descriptiva .....	401
10.7	Razonamiento con información por defecto .....	402
	Mundos abiertos y cerrados .....	403
	Negación como fallo y semánticas de modelado estables .....	405
	Circunscripción y lógica por defecto .....	406
10.8	Sistemas de mantenimiento de verdad .....	409
10.9	Resumen .....	411
	Notas bibliográficas e históricas .....	412
	Ejercicios .....	419
<b>11</b>	<b>Planificación</b> .....	<b>427</b>
11.1	El problema de planificación .....	428
	El lenguaje de los problemas de planificación .....	429
	Expresividad y extensiones .....	431
	Ejemplo: transporte de carga aéreo .....	433
	Ejemplo: el problema de la rueda de recambio .....	434
	Ejemplo: el mundo de los bloques .....	434
11.2	Planificación con búsquedas en espacios de estado .....	436
	Búsquedas hacia-delante en el espacio de estados .....	436
	Búsquedas hacia-atrás en el espacio de estados .....	438
	Heurísticas para la búsqueda en el espacio de estados .....	439
11.3	Planificación ordenada parcialmente .....	441
	Ejemplo de planificación de orden parcial .....	445
	Planificación de orden parcial con variables independientes .....	448
	Heurísticas para planificación de orden parcial .....	449
11.4	Grafos de planificación .....	450
	Grafos de planificación para estimación de heurísticas .....	453
	El algoritmo GRAPHPLAN .....	454
	Interrupción de GRAPHPLAN .....	457
11.5	Planificación con lógica proposicional .....	458

	Descripción de problemas de planificación en lógica proposicional .....	458
	Complejidad de codificaciones proposicionales .....	462
11.6	Análisis de los enfoques de planificación .....	463
11.7	Resumen .....	465
	Notas bibliográficas e históricas .....	466
	Ejercicios .....	469
<b>12</b>	<b>Planificación y acción en el mundo real</b> .....	<b>475</b>
12.1	Tiempo, planificación y recursos .....	475
	Programación con restricción de recursos .....	478
12.2	Redes de planificación jerárquica de tareas .....	481
	Representación de descomposición de acciones .....	482
	Modificación de planificadores para su descomposición .....	484
	Discusión .....	487
12.3	Planificación y acción en dominios no deterministas .....	490
12.4	Planificación condicional .....	493
	Planificación condicional en entornos completamente observables .....	493
	Planificación condicional en entornos parcialmente observables .....	498
12.5	Vigilancia de ejecución y replanificación .....	502
12.6	Planificación continua .....	507
12.7	Planificación multiagente .....	512
	Cooperación: planes y objetivos conjuntos .....	512
	Planificación condicional en entornos parcialmente observables .....	514
	Mecanismos de coordinación .....	515
	Mecanismos de coordinación .....	517
12.8	Resumen .....	517
	Notas bibliográficas e históricas .....	518
	Ejercicios .....	522
<b>13</b>	<b>Incertidumbre</b> .....	<b>527</b>
13.1	Comportamiento bajo incertidumbre .....	527
	Manipulación del conocimiento incierto .....	528
	Incertidumbre y decisiones racionales .....	530
	Diseño de un agente de decisión teórico .....	531
13.2	Notación básica con probabilidades .....	532
	Proposiciones .....	532
	Sucesos atómicos .....	534
	Probabilidad priori .....	534
	Probabilidad condicional .....	536
13.3	Los axiomas de la probabilidad .....	537
	Utilización de los axiomas de probabilidad .....	539
	Por qué los axiomas de la probabilidad son razonables .....	540
13.4	Inferencia usando las distribuciones conjuntas totales .....	541
13.5	Independencia .....	544
13.6	La Regla de Bayes y su uso .....	546
	Aplicación de la regla de Bayes: el caso sencillo .....	547
	Utilización de la regla de Bayes: combinación de evidencia .....	548
13.7	El mundo <i>wumpus</i> revisado .....	550
13.8	Resumen .....	554
	Notas bibliográficas e históricas .....	555
	Ejercicios .....	557

<b>14</b>	<b>Razonamiento probabilista</b>	<b>561</b>
14.1	La representación del conocimiento en un dominio incierto	561
14.2	La semántica de las redes bayesianas	564
	La representación de la distribución conjunta completa	564
	Un método para la construcción de redes bayesianas	565
	Compactación y ordenación de nodos	566
	Relaciones de independencia condicional en redes bayesianas	568
14.3	Representación eficiente de las distribuciones condicionales	569
	Redes bayesianas con variables continuas	571
14.4	Inferencia exacta en redes bayesianas	574
	Inferencia por enumeración	575
	El algoritmo de eliminación de variables	577
	La complejidad de la inferencia exacta	580
	Algoritmos basados en grupos	580
14.5	Inferencia aproximada en redes bayesianas	581
	Métodos de muestreo directo	582
	Muestreo por rechazo en redes bayesianas	583
	Ponderación de la verosimilitud	585
	Inferencia por simulación en cadenas de Markov	587
14.6	Extensión de la probabilidad a representaciones de primer orden	590
14.7	Otros enfoques al razonamiento con incertidumbre	595
	Métodos basados en reglas para razonamiento con incertidumbre	596
	Representación de la ignorancia: teoría de Dempster-Shafer	598
	Representación de la vaguedad: conjuntos difusos y lógica difusa	599
14.8.	Resumen	601
	Notas bibliográficas e históricas	601
	Ejercicios	606
<b>15</b>	<b>Razonamiento probabilista en el tiempo</b>	<b>611</b>
15.1	El tiempo y la incertidumbre	611
	Estados y observaciones	612
	Procesos estacionarios e hipótesis de Markov	613
15.2	Inferencia en modelos temporales	616
	Filtrado y predicción	617
	Suavizado	619
	Encontrar la secuencia más probable	622
15.3	Modelos ocultos de Markov	624
	Algoritmos matriciales simplificados	624
15.4	Filtros de Kalman	627
	Actualización de distribuciones gaussianas	628
	Un ejemplo unidimensional sencillo	629
	El caso general	632
	Aplicabilidad del filtrado de Kalman	633
15.5	Redes bayesianas dinámicas	635
	Construcción de RBDs	636
	Inferencia exacta en RBDs	640
	Inferencia aproximada en RBDs	641
15.6	Reconocimiento del habla	645
	Sonidos del habla	647
	Palabras	649
	Oraciones	651



	Construcción de un reconocedor del habla .....	654
15.7	Resumen .....	656
	Notas bibliográficas e históricas .....	656
	Ejercicios .....	659
<b>16</b>	<b>Toma de decisiones sencillas</b> .....	<b>663</b>
16.1	Combinación de creencias y deseos bajo condiciones de incertidumbre .....	664
16.2	Los fundamentos de la teoría de la utilidad .....	665
	Restricciones sobre preferencias racionales .....	666
	... y entonces apareció la utilidad .....	668
16.3	Funciones de utilidad .....	669
	La utilidad del dinero .....	669
	Escalas de utilidad y evaluación de la utilidad .....	671
16.4	Funciones de utilidad multiatributo .....	674
	Predominio .....	674
	Estructura de preferencia y utilidad multiatributo .....	677
	Preferencias sin incertidumbre .....	677
	Preferencias con incertidumbre .....	678
16.5	Redes de decisión .....	679
	Representación de un problema de decisión mediante una red de decisión .....	679
	Evaluación en redes de decisión .....	681
16.6	El valor de la información .....	682
	Un ejemplo sencillo .....	682
	Una fórmula general .....	683
	Propiedades del valor de la información .....	685
	Implementación de un agente recopilador de información .....	685
16.7	Sistemas expertos basados en la teoría de la decisión .....	686
16.8	Resumen .....	690
	Notas bibliográficas e históricas .....	690
	Ejercicios .....	692
<b>17</b>	<b>Toma de decisiones complejas</b> .....	<b>697</b>
17.1	Problemas de decisión secuenciales .....	698
	Un ejemplo .....	698
	Optimalidad en problemas de decisión secuenciales .....	701
17.2	Iteración de valores .....	704
	Utilidades de los estados .....	704
	El algoritmo de iteración de valores .....	705
	Convergencia de la iteración de valores .....	707
17.3	Iteración de políticas .....	710
17.4	Procesos de decisión de Markov parcialmente observables .....	712
17.5	Agentes basados en la teoría de la decisión .....	716
17.6	Decisiones con varios agentes: teoría de juegos .....	719
17.7	Diseño de mecanismos .....	729
17.8	Resumen .....	732
	Notas bibliográficas e históricas .....	733
	Ejercicios .....	736
<b>18</b>	<b>Aprendizaje de observaciones</b> .....	<b>739</b>
18.1	Formas de aprendizaje .....	739
18.2	Aprendizaje inductivo .....	742

18.3	Aprender árboles de decisión .....	744
	Árboles de decisión como herramienta de desarrollo .....	744
	Expresividad de los árboles de decisión .....	745
	Inducir árboles de decisión a partir de ejemplos .....	746
	Elección de los atributos de test .....	750
	Valoración de la calidad del algoritmo de aprendizaje .....	752
	Ruido y sobreajuste .....	753
	Extensión de la aplicabilidad de los árboles de decisión .....	755
18.4	Aprendizaje de conjuntos de hipótesis .....	756
18.5	¿Por qué funciona el aprendizaje?: teoría computacional del aprendizaje .....	760
	¿Cuántos ejemplos se necesitan? .....	761
	Aprendizaje de listas de decisión .....	763
	Discusión .....	765
18.6	Resumen .....	766
	Notas bibliográficas e históricas .....	767
	Ejercicios .....	769
<b>19</b>	<b>Conocimiento en el aprendizaje</b> .....	<b>773</b>
19.1	Una formulación lógica del aprendizaje .....	773
	Ejemplos e hipótesis .....	774
	Búsqueda mejor-hipótesis-actual .....	776
	Búsqueda de mínimo compromiso .....	778
19.2	Conocimiento en el aprendizaje .....	782
	Algunos ejemplos sencillos .....	784
	Algunos esquemas generales .....	784
19.3	Aprendizaje basado en explicaciones .....	786
	Extraer reglas generales a partir de ejemplos .....	787
	Mejorar la eficiencia .....	789
19.4	Aprendizaje basado en información relevante .....	791
	Determinar el espacio de hipótesis .....	792
	Aprender y utilizar información relevante .....	792
19.5	Programación lógica inductiva .....	795
	Un ejemplo .....	795
	Métodos de aprendizaje inductivo de arriba a abajo ( <i>Top-down</i> ) .....	798
	Aprendizaje inductivo con deducción inversa .....	801
	Hacer descubrimientos con la programación lógica inductiva .....	803
18.6	Resumen .....	805
	Notas bibliográficas e históricas .....	806
	Ejercicios .....	809
<b>20</b>	<b>Métodos estadísticos de aprendizaje</b> .....	<b>811</b>
20.1	Aprendizaje estadístico .....	811
20.2	Aprendizaje con datos completos .....	815
	Aprendizaje del parámetro de máxima verosimilitud: modelos discretos .....	815
	Modelos de Bayes simples (Naive Bayes) .....	818
	Aprendizaje de parámetros de máxima verosimilitud: modelos continuos .....	819
	Aprendizaje de parámetros Bayesiano .....	821
	Aprendizaje de la estructura de las redes bayesianas .....	823
20.3	Aprendizaje con variables ocultas: el algoritmo EM .....	825
	Agrupamiento no supervisado: aprendizaje de mezclas de gaussianas .....	826
	Aprendizaje de redes bayesianas con variables ocultas .....	829

	Aprendizaje de modelos de Markov ocultos .....	831
	Forma general del algoritmo EM .....	832
	Aprendizaje de la estructura de las redes de Bayes con variables ocultas .....	833
20.4	Aprendizaje basado en instancias .....	834
	Modelos de vecinos más cercanos .....	835
	Modelos núcleo .....	837
20.5	Redes neuronales .....	838
	Unidades en redes neuronales .....	839
	Estructuras de las redes .....	840
	Redes neuronales de una sola capa con alimentación-hacia-delante (perceptrones) .	842
	Redes neuronales multicapa con alimentación hacia delante .....	846
	Aprendizaje de la estructura de las redes neuronales .....	851
20.6	Máquinas núcleo .....	851
20.7	Caso de estudio: reconocedor de dígitos escritos a mano .....	855
20.8	Resumen .....	857
	Notas bibliográficas e históricas .....	859
	Ejercicios .....	863
<b>21</b>	<b>Aprendizaje por refuerzo</b> .....	<b>867</b>
21.1	Introducción .....	867
21.2	Aprendizaje por refuerzo pasivo .....	869
	Estimación directa de la utilidad .....	870
	Programación dinámica adaptativa .....	871
	Aprendizaje de diferencia temporal .....	872
21.3	Aprendizaje por refuerzo activo .....	876
	Exploración .....	876
	Aprendizaje de una Función Acción-Valor .....	880
21.4	Generalización en aprendizaje por refuerzo .....	882
	Aplicaciones a juegos .....	885
	Aplicación a control de robots .....	886
21.5	Búsqueda de la política .....	887
21.6	Resumen .....	890
	Notas bibliográficas e históricas .....	891
	Ejercicios .....	894
<b>22</b>	<b>La comunicación</b> .....	<b>897</b>
22.1	La comunicación como acción .....	898
	Fundamentos del lenguaje .....	899
	Etapas de la comunicación .....	900
22.2	Una gramática formal para un fragmento del español .....	903
	El léxico de e0 .....	904
	La Gramática de e0 .....	904
22.3	Análisis sintáctico .....	905
	Análisis sintáctico eficiente .....	908
22.4	Gramáticas aumentadas .....	914
	Subcategorización del verbo .....	916
	Capacidad generativa de las gramáticas aumentadas .....	918
22.5	Interpretación semántica .....	919
	La semántica de un fragmento en español .....	920
	Tiempo y forma verbal .....	921
	Cuantificación .....	922

	Interpretación pragmática .....	925
	Generación de lenguajes con DCGs .....	926
22.6	Ambigüedad y desambigüedad .....	927
	Desambiguación .....	929
22.7	Comprensión del discurso .....	930
	Resolución por referencia .....	931
	La estructura de un discurso coherente .....	932
22.8	Inducción gramatical .....	934
22.9	Resumen .....	936
	Notas bibliográficas e históricas .....	937
	Ejercicios .....	941
<b>23</b>	<b>Procesamiento probabilístico del lenguaje</b> .....	<b>945</b>
23.1	Modelos probabilísticos del lenguaje .....	945
	Gramáticas probabilísticas independientes del contexto .....	949
	Aprendizaje de probabilidades para PCFGs .....	950
	Aprendizaje de la estructura de las reglas para PCFGs .....	951
23.2	Recuperación de datos .....	952
	Evaluación de los Sistemas de RD .....	955
	Refinamientos RD .....	956
	Presentación de los conjuntos de resultados .....	957
	Implementar sistemas RD .....	959
23.3	Extracción de la información .....	961
23.4	Traducción automática .....	964
	Sistemas de traducción automáticos .....	966
	Traducción automática estadística .....	967
	Probabilidades de aprendizaje para la traducción automática .....	970
23.5	Resumen .....	972
	Notas bibliográficas e históricas .....	972
	Ejercicios .....	975
<b>24</b>	<b>Percepción</b> .....	<b>979</b>
24.1	Introducción .....	979
24.2	Formación de la imagen .....	981
	Imágenes sin lentes: la cámara de orificio o pinhole .....	982
	Sistemas de lentes .....	983
	Luz: la fotometría de la formación de imágenes .....	983
	Color: la espectrofotometría de la formación de imágenes .....	985
24.3	Operaciones de procesamiento de imagen a bajo nivel .....	986
	Detección de aristas .....	987
	Segmentación de la imagen .....	990
24.4	Extracción de información tridimensional .....	991
	Movimiento .....	993
	Estereoscopia binocular .....	996
	Gradientes de textura .....	997
	Sombreado .....	999
	Contorno .....	1000
24.5	Reconocimiento de objetos .....	1004
	Reconocimiento basado en la intensidad .....	1007
	Reconocimiento basado en las características .....	1008
	Estimación de postura .....	1010

24.6	Empleo de la visión para la manipulación y navegación .....	1012
24.7	Resumen .....	1014
	Notas bibliográficas e históricas .....	1015
	Ejercicios .....	1018
<b>25</b>	<b>Robótica</b> .....	<b>1023</b>
25.1	Introducción .....	1023
25.2	<i>Hardware</i> robótico .....	1025
	Sensores .....	1025
	Efectores .....	1027
25.3	Percepción robótica .....	1029
	Localización .....	1031
	Generación de mapas .....	1036
	Otros tipos de percepción .....	1039
25.4	Planear el movimiento .....	1039
	Espacio de configuración .....	1040
	Métodos de descomposición en celdas .....	1043
	Métodos de esqueletización .....	1046
25.5	Planificar movimientos inciertos .....	1047
	Métodos robustos .....	1048
25.6	Movimiento .....	1051
	Dinámica y control .....	1051
	Control del campo de potencial .....	1054
	Control reactivo .....	1055
25.7	Arquitecturas <i>software</i> robóticas .....	1057
	Arquitectura de subsumpción .....	1058
	Arquitectura de tres capas .....	1059
	Lenguajes de programación robóticos .....	1060
25.8	Dominios de aplicación .....	1061
25.9	Resumen .....	1064
	Notas bibliográficas e históricas .....	1065
	Ejercicios .....	1069
<b>26</b>	<b>Fundamentos filosóficos</b> .....	<b>1075</b>
26.1	IA débil: ¿pueden las máquinas actuar con inteligencia? .....	1075
	El argumento de incapacidad .....	1077
	La objeción matemática .....	1078
	El argumento de la informalidad .....	1079
26.2	IA fuerte: ¿pueden las máquinas pensar de verdad? .....	1081
	El problema de mente-cuerpo .....	1084
	El experimento del «cerebro en una cubeta» .....	1085
	El experimento de la prótesis cerebral .....	1086
	La habitación china .....	1088
26.3	La ética y los riesgos de desarrollar la Inteligencia Artificial .....	1090
26.4	Resumen .....	1095
	Notas bibliográficas e históricas .....	1095
	Ejercicios .....	1098
<b>27</b>	<b>IA: presente y futuro</b> .....	<b>1099</b>
27.1	Componentes de los agentes .....	1099
27.2	Arquitecturas de agentes .....	1102

27.3	¿Estamos llevando la dirección adecuada? .....	1104
27.4	¿Qué ocurriría si la IA tuviera éxito? .....	1106
<b>A</b>	<b>Fundamentos matemáticos</b> .....	<b>1109</b>
A.1	Análisis de la complejidad y la notación $O()$ .....	1109
	Análisis asintótico .....	1109
	Los problemas inherentemente difíciles y NP .....	1110
A.2	Vectores, matrices y álgebra lineal .....	1112
A.3	Distribuciones de probabilidades .....	1114
	Notas bibliográficas e históricas .....	1115
<b>B</b>	<b>Notas sobre lenguajes y algoritmos</b> .....	<b>1117</b>
B.1	Definición de lenguajes con Backus-Naur Form (BNF) .....	1117
B.2	Algoritmos de descripción en pseudocódigo .....	1118
B.3	Ayuda en línea .....	1119
	<b>Bibliografía</b> .....	<b>1121</b>
	<b>Índice alfabético</b> .....	<b>1179</b>